

**ENFOQUE PARA LA ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS
ROCOSOS APLICADO A EXPLOTACIÓN MINERA A TAJO ABIERTO.
(MINAS PAZDELRÍO S.A.)**

NIXON FABIAN SOLANO MARTINEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

**ENFOQUE PARA LA ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS
ROCOSOS APLICADO A EXPLOTACIÓN MINERA A TAJO ABIERTO
(MINAS PAZDELRIO S.A.)**

**Práctica empresarial como modalidad de grado para la obtención del título
de Ingeniera Geólogo.**

**Director de la Práctica:
Esp. Rafael Pérez Espitia**

**Codirector de la Práctica:
Jorge Oswaldo Moreno Díaz**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sogamoso, octubre de 2016

DEDICADO A

A mis padres y hermanos que fueron ellos los que con su apoyo incondicional en cada momento, que siempre estuvieron ahí, para darme una voz de aliento y sacar de mí las mejores cosas, son los que nunca permitieron que me diera por vencido en este largo camino a ellos mil gracias.

AGRADECIMIENTOS

*Primero a Dios por permitirme culminar una etapa en mi vida,
A mis padres que con sacrificio y ejemplo formaron en mí valores
y sentido de responsabilidad, ellos son pilares de cada paso que
he dado en la vida, a mi familia que me han brindado un apoyo
infinito en cada momento gracias.*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1 OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 JUSTIFICACIÓN	18
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 MÉTODO DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	19
3.1.1 RMR- Bieniawski (1989)	19
3.1.2 MRMR- Laubscher (2000)	19
3.1.3 GSI- Hoek (1994)	20
4 METODOLOGÍA	21
5 GUÍA PARA LA ZONIFICACIÓN GEOMECANICA	22
5.1 INFORMACIÓN SECUNDARIA	22
5.1.1 Geología regional	22
5.1.2 Geología local	22
5.1.3 Tectónica	22
5.1.4 Geomorfología	22
5.1.5 Hidrogeología	23
5.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	23
5.2.1 Descripción de la matriz rocosa	23
5.2.1.1 Identificación litológica.	23
5.2.1.2 Meteorización de la matriz rocosa.	23
5.2.1.3 Resistencia.	24
5.2.2 Descripción de las discontinuidades	25
5.2.2.1 Orientación.	26
5.2.2.2 Espaciado.	27

5.2.2.3	Continuidad.	27
5.2.2.4	Rugosidad.	28
5.2.2.5	Resistencia de las paredes de la discontinuidad.	29
5.2.2.6	Abertura.	29
5.2.2.7	Filtraciones.	30
5.2.2.8	Relleno.	30
5.2.3	Parámetros del macizo rocoso	31
5.2.3.1	Número y orientación de las familias de discontinuidades.	31
5.2.3.2	Fracturación.	32
5.2.3.2.1	Calculo de RQD en testigos de perforación.	33
5.2.3.2.2	Calculo de RQD en afloramientos.	33
5.2.3.3	Grado de meteorización.	34
5.3	EXPLORACIÓN DE CAMPO	35
5.3.1	Toma de datos en afloramientos.	36
5.3.1.1	Materiales y Equipos	36
5.3.1.2	Identificación del afloramiento.	36
5.3.1.3	Registro fotográfico y esquemas	36
5.3.1.4	Descripción geológica	36
5.3.1.5	División general de zonas.	37
5.3.1.6	Descripción de zonas.	37
5.3.2	Toma de datos en perforaciones	37
5.3.2.1	Revisión de intervalos.	38
5.3.2.2	Ubicación de núcleos de perforación	38
5.3.2.3	Descripción geológica	38
5.3.2.4	Descripción geotécnica.	38
5.4	TOMA DE MUESTRAS	39
5.4.1	Toma de muestras en afloramiento	39
5.4.2	Toma de muestras en núcleos de perforación	40
5.5	GUIA PARA LA ZONIFICACION GEOMECANICA	41
5.5.1	Resistencia de la roca.	42
5.5.2	Grado de fracturamiento (RQD).	42
5.5.3	Espaciado	43
5.5.4	Condición de las discontinuidades.	43

6	VALORACION Y VERIFICACION DEL ENFOQUE	49
6.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO	49
6.2	LEVANTAMIENTO DE DATOS	49
6.2.1	Toma de datos de perforación	49
6.2.2	Toma de muestras en perforación	50
6.2.3	Toma de datos en afloramiento	50
6.3	ANALISIS GEOTECNICO PERFORACIONES	50
6.3.1	Litología	50
6.3.2	Parámetros geotécnicos	51
6.3.2.1	RQD	51
6.3.2.2	Abertura	51
6.3.2.3	Forma	52
6.3.2.4	Rugosidad	53
6.3.2.5	Relleno	53
6.3.2.6	Resistencia	54
6.3.2.7	Meteorización	54
6.3.2.8	Continuidad	55
6.4	ANALISIS GEOTECNICO EN AFLORAMIENTO	55
6.4.1	Litología	55
6.4.2	Número y orientación de familia de discontinuidades	55
6.4.2.1	RQD	56
6.4.2.2	Abertura	57
6.4.2.3	Forma	58
6.4.2.4	Rugosidad	58
6.4.2.5	Relleno	59
6.4.2.6	Resistencia	59
6.4.2.7	Meteorización	60
6.4.2.8	Continuidad	60
6.4.2.9	Filtraciones	60
6.5	CLASIFICACIÓN DE MACIZO ROCOSO	60
6.5.1	Clasificación Geomecánica en Afloramiento	61

6.5.2	Clasificación Geomecánica en Perforación	62
6.5.3	Comparación clasificación geomecanica afloramiento y perforación	63
7	CONCLUSIONES	65
8	BIBLIOGRAFÍA	66

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	<i>Parámetros de discontinuidades.....</i>	26
Figura 2.	<i>Perfil de Rugosidad</i>	29
Figura 3.	<i>Esquema de medición RQD.....</i>	33
Figura 4.	<i>Macizo rocoso de calidad muy mala</i>	47
Figura 5.	<i>Macizo rocoso de calidad mala.....</i>	47
Figura 6.	<i>Macizo rocoso de buena calidad.....</i>	48
Figura 7.	<i>Macizo rocoso de calidad buena a muy buena</i>	48
Figura 8.	<i>Núcleo perforación.....</i>	49
Figura 9.	<i>Red de densidades de polos.....</i>	55
Figura 10.	<i>Diagrama de planos y polos.....</i>	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación MRMR	19
Tabla 2. Clasificación GSI	20
Tabla 3. Descripción del grado de meteorización.....	24
Tabla 4. Grado de resistencia.....	25
Tabla 5. Clasificación de espaciado	27
Tabla 6. Descripción de continuidad.....	28
Tabla 7. Descripción de aberturas.....	30
Tabla 8. Descripción de filtraciones.....	30
Tabla 9. Clasificación de rellenos	31
Tabla 10. Clasificación de macizos rocoso por el número de familias de discontinuidades.....	32
Tabla 11. Clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de discontinuidades.....	34
Tabla 12. Clasificación de la calidad de macizo rocoso según el índice RQD	34
Tabla 13. Descripción del grado de meteorización.....	35
Tabla 14. Clasificación de la resistencia	42
Tabla 15. Clasificación índice de fracturamiento.	42
Tabla 16. Clasificación de espaciado	43
Tabla 17. Clasificación de aberturas de discontinuidades	43
Tabla 18. Clasificación Continuidad y persistencia.....	43

Tabla 19.	<i>Clasificación de rugosidad</i>	44
Tabla 20.	<i>Clasificación según relleno de discontinuidades</i>	44
Tabla 21.	<i>Clasificación según la alteración de las discontinuidades</i>	44
Tabla 22.	<i>Presencia de aguas.....</i>	45
Tabla 23.	<i>. Clasificación RMR</i>	45
Tabla 24.	<i>Clasificación geomecánica.....</i>	45
Tabla 25.	<i>Datos estructurales discontinuidades</i>	56
Tabla 26.	<i>Parámetros de macizo rocoso.....</i>	61
Tabla 27.	<i>Parámetros de macizo rocoso bueno</i>	62
Tabla 28.	<i>parámetros de macizo rocoso medio</i>	62

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Histograma análisis estadístico RQD	51
Gráfica 2. Abertura de discontinuidades.....	52
Gráfica 3. Forma de las discontinuidades.....	52
Gráfica 4. Rugosidad de discontinuidades	53
Gráfica 5. Relleno de discontinuidades	53
Gráfica 6. Resistencia del macizo.....	54
Gráfica 7. Grado de meteorización	54
Gráfica 8. Histograma de Análisis estadístico RQD.....	57
Gráfica 9. Abertura de discontinuidades.....	57
Gráfica 10. Forma de discontinuidades	58
Gráfica 11. Rugosidad de discontinuidades.....	58
Gráfica 12. Relleno de discontinuidades.....	59
Gráfica 13. Resistencia de discontinuidades.....	59
Gráfica 14. Grado de meteorización.....	60
Gráfica 15. Clasificación RMR calizas	63
Gráfica 16. parámetros geotécnico	63

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. GUÍA DE MAPEO

ANEXO B. FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO

ANEXO C. FORMATO DE DESCRIPCIÓN PERFORACIONES

ANEXO.D LOGUEO GEOLOGICO-GEOTECNICO

RESUMEN

TITULO: ENFOQUE PARA LA ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE MACIZOS ROCOSOS APLICADO A EXPLOTACIÓN MINERA A TAJO ABIERTO

PALABRAS CLAVES: geomecánica, matriz rocosa, discontinuidades, cohesión, litología, macizo rocoso, rugosidad, relleno.

Debido a que en el desarrollo, preparación y explotación minera a cielo abierto se presentan un gran número de actividades que pueda generan cambios en el comportamiento mecánico de los macizos rocosos, es necesario realizar un enfoque que permita clasificar geomecánica de macizos rocosos.

Este enfoque establece una guía que permite realizar una descripción precisa y detallada de las condiciones y parámetros tanto de la matriz rocosa como de las discontinuidades, las cuales condicionan de manera directa el comportamiento de un macizo rocoso, de igual manera se describen las actividades de exploración de campo para la recolección de la información necesaria para la realización de dicha clasificación geomecánica.

Para el desarrollo de la clasificación geomecánica se tiene en cuenta la metodología expuesta por Bieniaswski (1989), conocido como RMR (Rock Mass Rating) la cual evalúa parámetros de la matriz rocosa (litología, meteorización, resistencia) y parámetros de discontinuidades (orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, filtraciones, relleno), cada parámetro presenta una codificación específica ya estandarizada que permite una clasificación más sencilla, cada uno se le asigna un valor determinado el cual tendrá una sumatoria total que dará la clasificación geomecánica.

Esta clasificación otorga valores desde muy malo a bueno, generando valores de cohesión y ángulo de rozamiento, parámetros utilizados para el diseño y optimización de los macizos rocosos. Además se presenta un ejemplo práctico de la utilización del enfoque en una mina a cielo abierto.

INTRODUCCIÓN

Minas PazdelRío S.A. es una empresa minera que se dedica a la exploración y explotación de mineral de hierro, caliza y carbón, materias primas fundamentales en la producción de acero.

Las operaciones mineras buscan mejorar el manejo de sus actividades a partir de diseños que optimicen sus estándares operacionales de modo que cumplan con los factores de seguridad adecuados según la norma vigente (NSR-10), por ello surge la necesidad de realizar la zonificación geomecánica a los macizos rocosos presentes en la zona de explotación minero en periodos de tiempo regulares.

Este enfoque permite llevar a cabo dicha zonificación de la mano con las labores de desarrollo y preparación de mina, la cual actualmente permite optimizar el manejo de las operaciones de explotación y proporciona un importante aporte en el conocimiento y desarrollo de actividades mineras futuras y en bloques mineables adyacentes al sector que se analizó en este trabajo de investigación aplicada.

A continuación se describen las actividades e información necesaria para el desarrollo de una zonificación geomecánica, desde la fase de búsqueda de información secundaria, descripción de parámetros geomecánicos, exploración de campo y guía para la clasificación de macizos rocosos. Además se presenta un ejemplo práctico de la utilización del enfoque en una mina a cielo abierto.

Para el desarrollo de la clasificación geomecánica se tendrá en cuenta la metodología expuesta por Bieniaswski (1989), conocido como RMR (Rock Mass Rating).

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un enfoque que permita la caracterización y zonificación geomecánica de macizos rocosos durante las labores de desarrollo, preparación y explotación de una mina a cielo abierto

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar la información bibliográfica necesaria para el desarrollo del enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos.
- Generar una guía que permita explicar las características litológicas y geotécnicas de un macizo rocoso.
- Generar una guía de actividades y formatos para la recopilación de información en campo.
- Generar una guía para la evaluación y clasificación de macizos rocosos.
- Realizar ejemplo aplicativo que permita la verificación y validación del enfoque desarrollado.

2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el proyecto minero El Santuario se evidencia que las condiciones geomecánicas pueden variar drásticamente a través del tiempo, esto en razón a que las rocas y diaclasas son medios pétreos que fácilmente son afectados por factores externos como fallas locales, cambios faciales, voladuras o el corte mecánico y afectan la calidad de un macizo rocoso.

Por esto el presente trabajo busca genera un enfoque que permita realizar de manera sistemática una zonificación geomecánica de macizos rocosos, el cual al ser implementado contribuye a la optimizar el desarrollo, preparación y explotación de labores mineras las cuales cumplan con estándares de seguridad establecidos dentro de la (NSR-10).

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 MÉTODO DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS¹

Debido a la gran dificultad que genera la intervención de macizos rocosos, diferentes autores han propuesto métodos para la clasificación de los mismo, los cuales han sido modificados subsecuentemente, teniendo en cuenta que para el análisis de esto se evalúan diferentes variables cualitativas las cuales presentan una gran anisotropía, por esto se hace muy importante una buena interpretación correcta y experta, a continuación se presenta una revisión de los más importantes métodos utilizados para minería a cielo abierto. RMR, MRMR, GSI,

3.1.1 RMR- Bieniawski (1989)

Bieniawski en 1976 publico una clasificación de macizo rocoso denominada clasificación sistema Rock Mass Rating la cual tuvo una modificación en (1989), esta clasificación tiene en cuenta los siguientes 6 parámetros (Resistencia, Grado de fracturación, meteorización, condiciones de discontinuidades e infiltraciones).

3.1.2 MRMR- Laubscher (2000)

Laubscher planteo un sistema de clasificación basado en el RMR el cual le realizo una modificación por la metodología propuesta por Bieniawski por esto su nombre de Modified Rock Mass Rating que tiene en cuenta para categorizar un puntaje de 0 a 100 tal como se muestra en la siguiente tabla (ver Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación MRMR

Calidad del Macizo	Clase	MRMR
Muy mala	5	0-20
Mala	4	21-40
Regular	3	41-60
Buena	2	61-80
Muy buena	1	81-100

Fuente. Proyecto Chuquicamata

La diferencia de la valoración radica en algunos parámetros y la determinación del espaciamiento de las discontinuidades además considera el esfuerzo in situ e inducidos y los efectos en el macizo producto de las voladuras y la exposición de la roca fresca al ambiente.

¹ Proyecto Chuquicamata Subterráneo, extraída de “Geotechnical guidelines for a Transition from Open Pit to Underground Mining”.

3.1.3 GSI- Hoek (1994)

Se conoce como el índice geológico de resistencia (GSI, Geological Strength index), está asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia presentada en un macizo rocoso con variables geológicas diferentes y se obtiene de combinar de parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo y la condición de sus discontinuidades y su clasificación se realiza según el siguiente criterio (ver Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación GSI

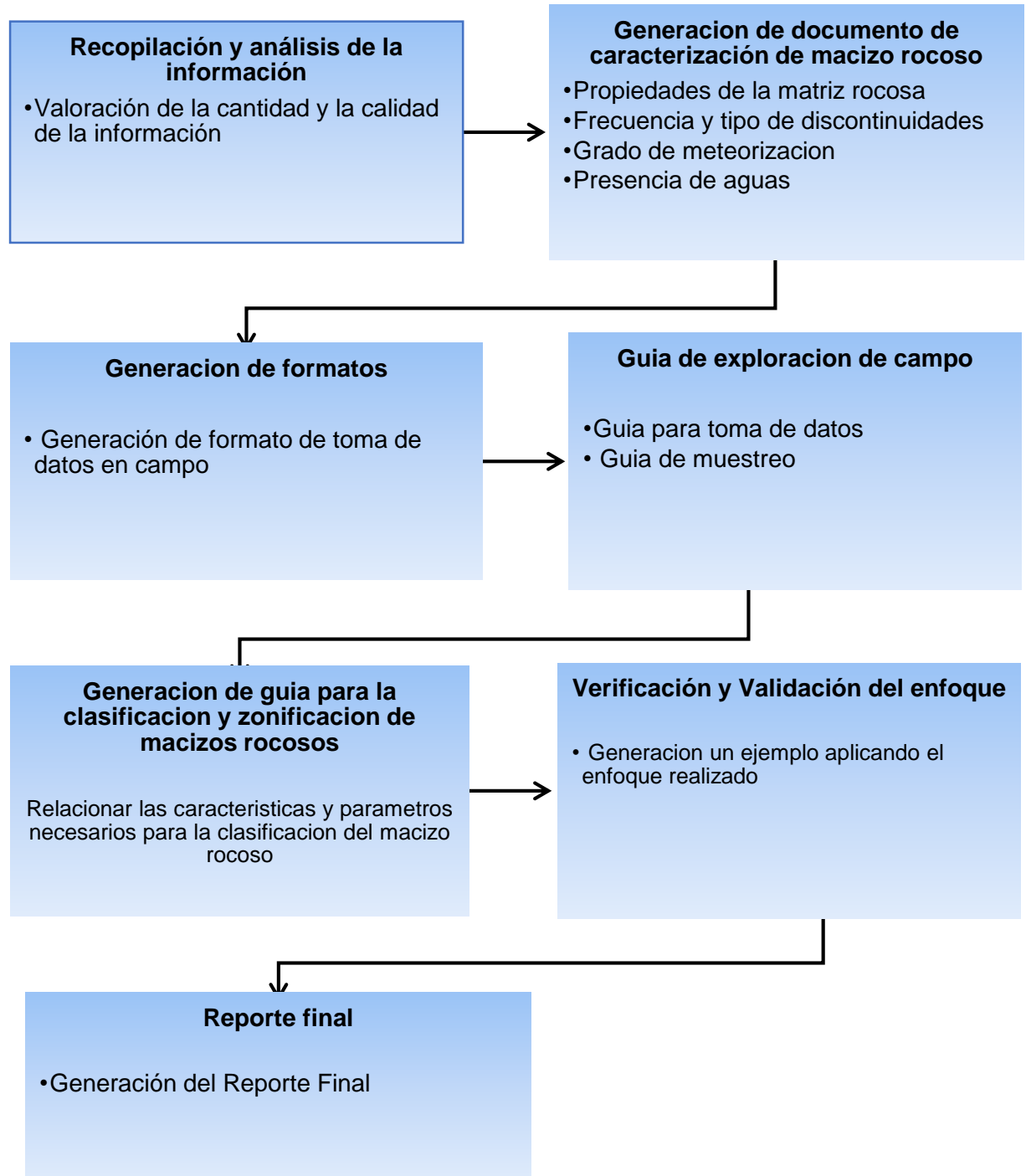
Calidad del Macizo	Clase	GSI
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy buena	I	81-100

Fuente. Proyecto Chuquicamata

Existe una relación del GSI con el método RMR de 1989, que se ha establecido de manera empírica, el cual no ha tenido en cuenta las condiciones de aguas en de 15 y la orientación de discontinuidades es de 0.

4 METODOLOGÍA

Flujograma de la metodología utilizada para el desarrollo de la práctica en 7 Fases.



5 GUÍA PARA LA ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

La zonificación geomecánica comprende el desarrollo de una serie de actividades, que en conjunto permite realizar de manera precisa y detallada una descripción de parámetros de caracterización geológica y geotécnica de macizos rocosos, dichas actividades requieren que la persona encargada de esta labor tenga un conocimiento de geología y geotecnia.

A continuación se describe de manera detallada las actividades e insumos esenciales para el proceso de clasificación geomecánica.

5.1 INFORMACIÓN SECUNDARIA

Considerando que al momento de realizar la zonificación geomecánica, se debe tener un conocimiento claro de las condiciones y características de la zona en la que se encuentra la explotación, por esto se genera la necesidad de conocer la siguiente información.

5.1.1 Geología regional

Se debe contar con una cartografía geológica a una escala 1:5.000 con los estándares propuestos de presentación cartográfica del ingeominas 2002, Esta debe contener principales formación geológicas encontradas en la zona, datos estructurales y perfiles geológicos, para los achurados y colores de cada formación geológica se debe tener en cuenta Geologic time Scale 2008.

5.1.2 Geología local

La cartografía local debe presentarse a una escala 1:2.000 con los estándares propuestos de presentación cartográfica del ingeominas 2002, esta cartografía debe contener la información geológica de la zona de la explotación, como la formación geológica de interés sus respectivos miembros, datos estructurales y perfiles geológicos, para los achurados y colores se debe tener en cuenta la Geologic time Scale 2008.

Esta información es importante en el momento de la generación de un plan de exploración o muestreo de acuerdo sean las necesidades.

5.1.3 Tectónica

Se debe tener conocimientos de los eventos tectónicos que se han presentado en la zona de estudio, tales como fallas y pliegues, describiendo sus principales rasgos y las formaciones que son afectadas por dichos eventos.

5.1.4 Geomorfología

Contar con una descripción de las principales geoformas expuestas en la zona de estudio, definiendo el ambiente y su geoforma, para esto se debe tener como referencia el glosario geomorfológico del servicio geológico colombiano.

5.1.5 Hidrogeología

Se requiere la caracterización hidrogeológica de la zona de estudio, ya que esta información ayudara a definir el comportamiento de las aguas tanto superficiales como subterráneas, que será necesario en el momento de realizar la zonificación geomecánica.

5.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Se debe tener un conocimiento de las características principales a evaluar dentro de la clasificación geomecánica, para esto se tendrá en cuenta la metodología propuesta por Bieniawski (RMR), que analiza la calidad del macizo rocoso, el cual es un conjunto compuesto por una matriz rocosa y una serie de discontinuidades, las cuales son medios anisotropicos, no homogéneos y continuos, por esto se deben tener en cuenta los siguientes definiciones y características para realizar la evaluación de los mismos.

5.2.1 Descripción de la matriz rocosa²

La matriz rocosa se describe como un material rocoso que se encuentra dentro planos de discontinuidad, esta posee unas propiedades que permiten su identificación y clasificación, los aspectos que se deben tener en cuenta a momento de realiza una descripción geotécnica son:

- Identificación litológica
- Meteorización o alteración
- Resistencia

5.2.1.1 Identificación litológica.

La identificación se realiza de manera visual describiendo parámetros como composición, textura, tamaño de grano, color, estructura y dureza, para la correcta observación de dichas propiedades es necesario limpiar la roca, eliminando la capa superficial de alteración que se pueda presentar.

5.2.1.2 Meteorización de la matriz rocosa.

Según los descrito por Vallejo 2004, el grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto que condiciona de forma definitiva las propiedades mecánicas, debido a que según avanza el grado de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia. La definición del grado o estado de meteorización se debe realizar de acuerdo a la 0.

² Ingeniería geológica. Luis I Gonzales de Vallejo

Los distintos tipos de roca son afectados de manera diferente por los procesos de meteorización siendo estos más intensos cuanto es mayor el tiempo de exposición a los agentes atmosféricos.

Tabla 3. Descripción del grado de meteorización

METEORIZACIÓN DE LA ROCA		
Fresca	W1	Sin signos visibles de meteorización
Ligeramente Meteorizada	W2	Decoloración indica meteorización en la superficie de las discontinuidades
Moderadamente Meteorizada	W3	Roca fresca o decolorada, tanto en superficie de las discontinuidades, como en el testigo. Menos del 50% del material está descompuesto.
Muy Meteorizada	W4	Más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Roca fresca o decolorada se presenta tanto en discontinuidades como en núcleos aislados o discontinuos
Completamente Meteorizada	W5	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original está aun mayoritariamente intacta
Suelo Residual	W6	Toda la roca está convertida en suelo. La fábrica y estructura original de la roca están destruidas. Hay cambio de volumen, pero el suelo no ha sido significativamente transportado

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

5.2.1.3 Resistencia.

La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en campo realizando sencillos ensayos utilizando el martillo de Schmidt, o ensayos de laboratorio como carga puntual o correlaciones de registro sísmico.

El ensayo de carga puntual, permite obtener un índice I_s y mediante el martillo Schmidt se mide es la resistencia al rebote de una superficie rocosa, en ambos casos es recomendable tomar un número elevado de medidas y realizar una análisis estadístico para encontrar el grado de resistencia de la roca.

Los índices de campo permiten la estimación de los rangos de resistencia de la roca, para su clasificación se debe tener en cuenta los criterios que se exponen en la Tabla 4

Estimación aproximada y clasificación de la resistencia de la resistencia en campo

Tabla 4. Grado de resistencia

DUREZA DE LA ROCA			
Condición de Dureza	Código	IRS (MPa)	Estimación de Terreno
Extremadamente Frágil	R0	<3	Se puede enterrar una navaja, se disgrega al golpe firme del martillo geológico
Muy Frágil	R1	3 - 10	Se quiebra bajo golpes firmes con la punta del martillo geológico; puede ser escarbada por una navaja
Frágil	R2	10 - 25	Con dificultad puede ser escarbada con un cortaplumas. Marcas superficiales pueden ser hechas con un golpe firme con la punta del martillo geológico
Medianamente Dura	R3	25 - 50	No puede ser escarbada con una navaja. Se rompe con un golpe firme del martillo geológico
Dura	R4	50 - 100	Necesita más de un golpe del martillo geológico para romperse
Muy Dura	R5	100 - 200	Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca
Extremadamente Dura	R6	>200	Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas. Sonido metálico

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

5.2.2 Descripción de las discontinuidades

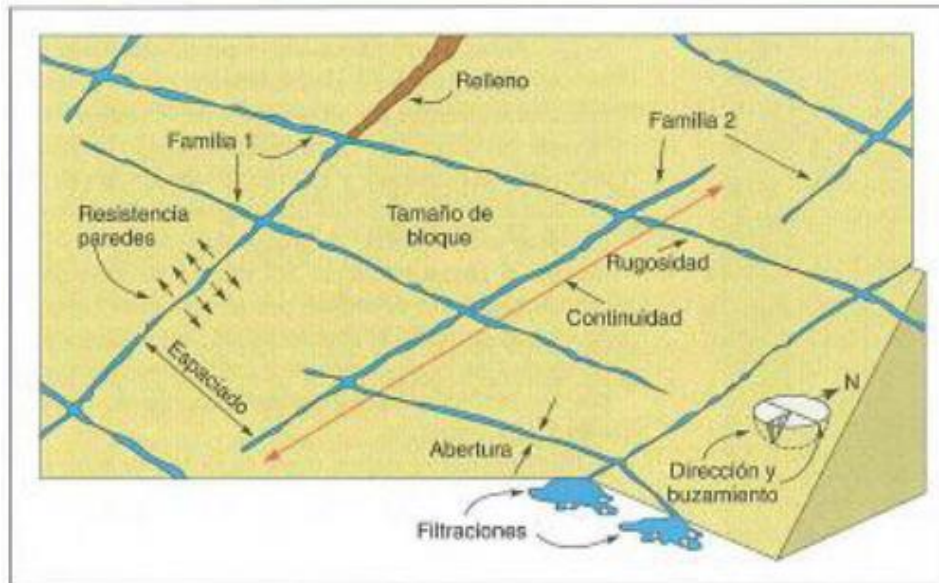
Las discontinuidades son superficies o planos que puede ser de origen sedimentario o mecánico, que condicionan de forma definitiva las propiedades y comportamiento resistente e hidráulico del macizo. Estas también le dan un carácter discontinuo y anisotrópico a los macizos haciéndolos deformables y débiles, lo que genera una gran dificultad al momento de evaluar el comportamiento frente a desarrollo dentro de un proyecto minero.

Para realizar la estimación de las condiciones del macizo, Gonzales de Vallejo 2004, define los siguientes parámetros los cuales deben ser evaluados en cada familia de discontinuidades (ver Figura 1).

- Orientación
- Espaciado
- Continuidad
- Rugosidad
- Resistencia
- Abertura
- Filtraciones
- Relleno

Estas propiedades determinan el comportamiento mecánico y la resistencia de las discontinuidades

Figura 1. Parámetros de discontinuidades



Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.2.1 Orientación.³

Las discontinuidades se presentan en familias las cuales presentan una orientación y características más o menos homogéneas. La orientación de las discontinuidades con respecto al diseño minero condiciona la presencia de inestabilidad y rotura.

La orientación de las discontinuidades se define en el espacio mediante su dirección de buzamiento (inclinación con respeto a la horizontal de dicha línea).su medida se realiza mediante la brújula.

La dirección de buzamiento se mide siguiendo la dirección de las agujas del reloj desde el norte y varían entre 0 y 360.el buzamiento se mide mediante el clinómetro, con valores entre 0° (capa horizontal) y 90° (capa vertical).

En necesario medir el número suficiente de orientaciones de discontinuidades con el ánimo de definir adecuadamente las familias presentes en macizo rocoso, el número de medidas que se deben tomar depende de las dimensión de la zona estudiada, de la presencia de diferentes direcciones de discontinuidades, si las orientaciones permanecen constantes se puede reducir el número de medidas, la representación de la familia de diaclasas se puede realizar mediante:

- Proyecciones estereográficas, representando los polos o planos con valores medidos en las diferentes familias encontradas.

³ Ingeniería geológica. Luis I Gonzales de Vallejo

- Símbolos en mapas geológicos, indicando la dirección y el valor de buzamiento definiendo lo diferentes tipos de discontinuidades (fallas, foliación, juntas)

5.2.2.2 Espaciado.

El espaciado que existe entre diferentes planos de discontinuidades, define el tamaño de los bloques presentes en la matriz rocosa, y esto define en parte el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidades de una misma familia, medidos en la dirección perpendicular a los planos de discontinuidades, la medida del espaciado se realiza con una cinta métrica, la cinta debe colocarse perpendicular a las superficies discontinuas.

Por lo general, las superficies expuestas en un afloramiento no permiten realizar las medidas de espaciado perpendicular a las superficies y lo que se mide son espaciados aparentes y se debe realizar una corrección a la medición para calcular el espaciado real:

$$e = d * \sin x$$

Donde d es la distancia medida con la cinta y x en ángulo formado entre la línea de medición y la dirección de la discontinuidad, el espaciado se define según los siguientes términos (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de espaciado

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	<20mm
Muy junto	20-60 mm
Junto	60-200mm
Moderadamente junto	200-600 mm
separado	600-2000mm
Muy separado	2000-6000mm
Extremadamente separado	>6000mm

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.2.3 Continuidad.

La continuidad o también llamada persistencia de un plano de discontinuidad hace referencia a su extensión superficial, medida por la longitud según su dirección y buzamiento.

Este es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación se debe tener un gran conocimiento de la zona de explotación y el comportamiento de las discontinuidades que se presentan.

Es importante destacar las familias más continuas, ya que son estas las que condicionan los planos de rotura del macizo rocoso, la continuidad se describe mediante la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción de continuidad

CONTINUIDAD		
Codigo	Continuidad	Descripcion
I	Muy baja continuidad	<1 m
II	Baja continuidad	1-3m
III	Continuidad media	3-10m
IV	Alta continuidad	10-20 m
V	Muy alta continuidad	>20

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.2.4 Rugosidad.

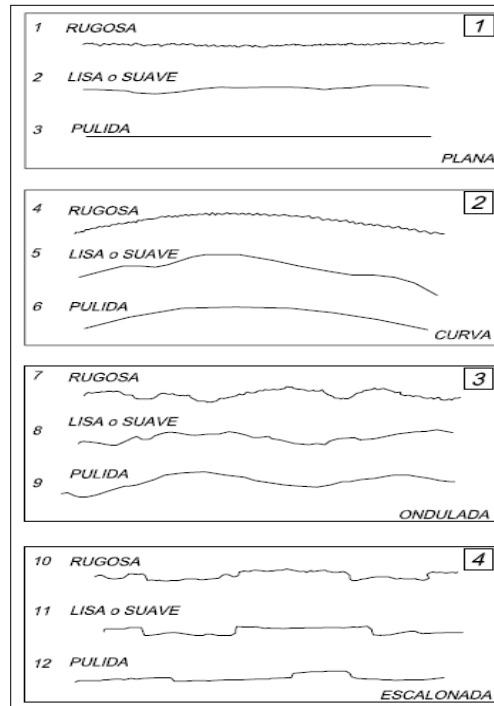
La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos, que para discontinuidades sin cohesión puede ser medida a partir de datos de campo.

El término de rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto como a las ondulaciones superficiales como a las irregularidades presentes en las discontinuidades, la descripción de estas requiere de dos escalas de observación:

- Escala decimétrica y métrica para la ondulación de las superficies: planas, onduladas o rugosas
- Escalas milimétricas y centimétrica para a rugosidad o irregularidad: superficies pulidas, lisas o rugosas.

La rugosidad puede ser medida en campo con diversos métodos, dependiendo de la exactitud requerida, de la escala medida o de la accesibilidad al afloramiento. El método más sencillo y rápido es la comparación visual de la discontinuidad con los perfiles estándares de rugosidad (ver Figura 2).

Figura 2. Perfil de Rugosidad



Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.2.5 Resistencia de las paredes de la discontinuidad.

La resistencia de las paredes de las discontinuidades influye en la resistencia al corte y deformabilidad de un macizo rocoso.

La resistencia depende fundamentalmente del tipo de matriz rocosa, el grado de alteración y la existencia o no de relleno. En discontinuidades sanas y limpias la resistencia será la misma de la matriz rocosa. Pero generalmente es menor debido a la meteorización de las paredes de estas.

La resistencia puede estimarse en campo a partir de los parámetros establecidos en el Tabla 4

La medición debe realizarse de manera representativa teniendo en cuenta el grado de alteración de las discontinuidades.

5.2.2.6 Abertura.

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de las discontinuidades cuando no existe relleno. Este parámetro presenta una gran anisotropía, puesto que mientras que en superficie la abertura puede ser alta, esta se reduce con la profundidad pudiendo llegar a cerrarse. La influencia de la abertura con respecto a la resistencia al corte es muy importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes.

Su medida se realiza directamente con una regla o metro, cuando la abertura es muy pequeña se puede emplear un calibre el cual se introduce en la abertura. Si la medición se realiza en afloramiento se debe realizar medidas a lo largo de 3 m. la descripción se realizara según la terminología descrita en la Tabla 7 .

Tabla 7. Descripción de aberturas

ABERTURA DE LAS DISCONTINUIDADES		
1	NI	Ninguna
2	<0,1 mm	Apretada
3	0,1 - 1 mm	Moderadamente Abierta
4	1 - 5 mm	Abierta
5	> 5 mm	Muy Abierta

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.2.7 Filtraciones.

El agua que circula dentro de un macizo rocoso por lo general lo hace por medio de los planos de discontinuidades (permeabilidad secundaria), en rocas con alta permeabilidad (permeabilidad primaria) las filtraciones atreves de las matriz rocosa pueden ser también muy importantes, la observación de las discontinuidades, se realiza teniendo en cuenta las descripciones de la Tabla 8

Tabla 8. Descripción de filtraciones

FILTRACIONES	
Codigo	Descripcion
I	discontinuidad seca
II	discontinuidad humeda
III	Discontinuidad con goteo
IV	Discontinuidad con flujo continuo de agua

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.2.8 Relleno.

Las discontinuidades pueden parecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe una gran variedad de materiales que presentan propiedades tanto físicas como mecánicas muy variables. La presencia de estos gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que se debe realizar una

descripción de los aspectos, debe tenerse en cuenta la dureza y alteración que estos puedan presentar.

La descripción se realiza según la terminología descrita en la Tabla 9

Tabla 9. Clasificación de rellenos

RELLENO DE LAS DISCONTINUIDADES	
Código	Descripción
MIL	Roca molida
BIT	Biotita
CLY	Arcilla
CHL	Clorita
BXF	Brecha de falla
CAL	Calcita
EPD	Epidota
MCV	Muscovita
GOG	Gouge (salbanda)
OXI	Óxido de fierro
HEM	Hematita
QTZ	Cuarzo
SER	Sericita

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis I Gonzales de Vallejo 2004

Las características principales que se deben describirse en el afloramiento son su naturaleza, espesor, resistencia al corte y permeabilidad (los dos últimos parámetros de forma indirecta o cualitativa).

5.2.3 Parámetros del macizo rocoso⁴

Para la realización de la zonificación geomecánica se debe realizar una caracterización global del macizo, además de los datos obtenidos de sus componentes la matriz rocosa y las discontinuidades, deben ser considerado otros factores representativos como:

- Número y orientación de las familias de discontinuidades
- Tamaño del bloque e intensidad de fracturación
- Grado de meteorización

5.2.3.1 Número y orientación de las familias de discontinuidades.

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura está condicionado por el número de familia de discontinuidades.

⁴ Ingeniería geológica. Luis I Gonzales de Vallejo

En los reconocimientos de campo de los macizos rocosos se deben registrar todas las familias presentes y evaluar su grado de importancia. Este grado puede expresarse mediante la asignación de números correlativos para la familia de mayor a menor importancia así con esto la familia principal sería la familia número 1. El macizo puede clasificarse por el número de familias según se expone en la Tabla 10, clasificación que varía entre macizos rocosos masivos o con una única familia de discontinuidades y macizos con cuatro o más familia de discontinuidades que puede ser un macizo plegado o altamente fracturado

Las familias de discontinuidades se pueden representar gráficamente mediante bloque diagramas, permitiendo la visualización espacial de su orientación relativa, tamaño y forma de los bloques de matriz rocosa.

Tabla 10. Clasificación de macizos rocoso por el número de familias de discontinuidades

NÚMERO DE SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (JN)	
0,5-1,1	Masiva, sin o con fracturas aisladas
2	Un sistema de fracturas
3	Un sistema de fracturas más una aislada
4	Dos sistemas de fracturas
6	Dos sistemas de fracturas más una aislada
9	Tres sistemas de fracturas
12	Tres sistemas de fracturas más una aislada
15	Cuatro o más sistemas de fracturas, fisuración intensa tipo “cubo”
20	Roca triturada, terregal

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.2.3.2 Fracturación.

La fracturación del macizo rocoso está definida por el número, espaciado y condiciones de las discontinuidades, cualquier que sea su origen y clase. El grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD (rock quality designation), que se mide en testigo de sondeos.

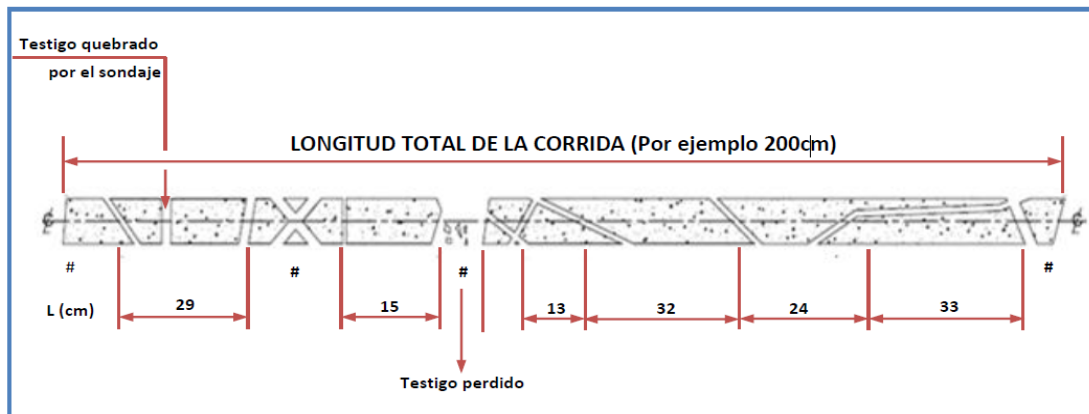
Para la determinación del valor de RQD, en campo o la zona de operación minera, existen dos procedimientos de cálculo.

5.2.3.2.1 Calculo de RQD en testigos de perforación.

Se calcula midiendo y sumando los fragmentos mayores a 10 cm, en un intervalo de perforación 1,5m. Dentro de la medición se debe tener en cuenta los fragmentos en los cuales se allá presentado rotura mecánica durante la perforación y sean mayores a 10 cm dentro del cálculo de RQD, (ver Figura 3).

$$RQD = (\sum \text{fragmentos} > 10 \text{ cm}) / (\text{log total de perforacion}) * 100$$

Figura 3. Esquema de medición RQD



Fuente. Autor

5.2.3.2.2 Calculo de RQD en afloramientos.

El índice RQD puede ser medido en afloramientos a partir de correlaciones empíricas como la Palmstrom, 1975 (en ISRM, 1981; tomado de Gonzales De Vallejo 2004).

Se calcula en función del número de discontinuidades en un metro cubico, las cuales se determinan al momento de realizar el levantamiento litológico-estructural, se obtiene la siguiente formula:

$$RQD = 115 - (3.3)J_v$$

Donde J_v es el número de discontinuidades en un metro cubico.

Con base en su el valor obtenido de RQD se clasifica la calidad del macizo rocoso según la Tabla 12 y teniendo en cuenta el número de discontinuidades se clasificara el tamaño del bloque teniendo como referencia en la Tabla 11

Clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de discontinuidades

Tabla 11. Clasificación del tamaño del macizo rocoso según el número de discontinuidades

N° de Discontinuidades (Jv)	Tamaño del Bloque (m2)
<1	Muy Grande
1 a 3	Grande
3 a 10	Medio
10 a 30	Pequeños
>30	Muy Pequeños
>60	Muy Brechificado

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

Tabla 12. Clasificación de la calidad de macizo rocoso según el índice RQD

RQD	Calidad
<25	Muy pobre
25-50	Pobre
50-75	Regular
75-90	Bueno
90-100	Muy bueno

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

A pesar de su utilidad, este índice no considera aspectos antes descritos como la orientación, separación, rellenos y de más características de las discontinuidades, por lo que no es suficiente para el análisis de fracturación de los macizos rocosos; por esto se hace indispensable la descripción de campo y de núcleos de perforación.

5.2.3.3 Grado de meteorización.

La evaluación del grado de meteorización se obtiene efectuando una observación directa sobre el afloramiento o testigos de perforación y realizando una comparación directa con estándares propuestos en la Tabla 13. En el cual se explican las diferentes características que puedan presentar las rocas que componen el macizo rocoso, en ocasiones puede ser necesario fragmentar un poco la roca para observar el grado de meteorización.

Tabla 13. Descripción del grado de meteorización

METEORIZACIÓN DE DISCONTINUIDADES		
Fresca	W1	Sin signos visibles de meteorización
Ligeramente Meteorizada	W2	Decoloración indica meteorización en la superficie de las discontinuidades
Moderadamente Meteorizada	W3	Roca fresca o decolorada, tanto en superficie de las discontinuidades, como en el testigo. Menos del 50% del material está descompuesto.
Muy Meteorizada	W4	Más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Roca fresca o decolorada se presenta tanto en discontinuidades como en núcleos aislados o discontinuos
Completamente Meteorizada	W5	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original está aun mayoritariamente intacta
Suelo Residual	W6	Toda la roca está convertida en suelo. La fábrica y estructura original de la roca están destruidas. Hay cambio de volumen, pero el suelo no ha sido significativamente transportado

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.3 EXPLORACIÓN DE CAMPO

A partir de las características de los macizos rocosos se define los parámetros a evaluar por ello la exploración in situ es una de las primeras etapas de investigación, a partir de una exploración sistemática con una descripción y caracterización adecuadas, la zonificación geomecánica brinda un valor agregado a la operación minera, dado que se cuenta con datos reales del estado tenso, deformaciones de los macizos rocosos y la interacción de los factores antrópicos que pueden llegar a gobernar el comportamiento mecánico de taludes y rellenos,

En el desarrollo de la exploración la gran variedad de condiciones y propiedades de caracterización del macizo rocoso se convierte en una tarea muy dispendiosa debido a que se puede encontrar conjuntamente zonas con alto grado de tectonismo, fracturamiento y meteorización y que en su descripción se debe incluir todos los aspectos que puedan ser observados y medidos

Las descripciones de las características de macizos rocosos requiere de unas propiedades adicionales a las geológicas, por esto se hace necesario realizar la clasificación teniendo como referencia la terminología estandarizada que se expone en el en aparte de caracterización geotécnica.

Para la recopilación de datos en las zonas de explotación minera tanto en afloramiento y perforaciones se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

5.3.1 Toma de datos en afloramientos.

La observación y caracterización en afloramientos de un macizo rocoso es una tarea sucesiva que inicia realizando una descripción general del terreno e identificando y clasificando los materiales que los componen, posteriormente se realiza observaciones más detalladas sobre los parámetros geotécnicos relevantes al momento de realizar la zonificación geomecánica.

Al momento de realizar la descripción de un macizo rocoso se debe tener en cuenta:

5.3.1.1 Materiales y Equipos

- Brújula geológica
- Cinta métrica
- Cámara digital
- Martillo geológico
- Acido (HCl) diluido al 10 %
- Corta plumas

5.3.1.2 Identificación del afloramiento.

Para la identificación de un afloramiento se debe describir la localización, vías de accesos, su extensión, tipo de afloramiento si es natural o de tipo antrópico y sus condiciones de seguridad para las personas que estarán haciendo el trabajo de descripciones en campo.

5.3.1.3 Registro fotográfico y esquemas

Es primordial realizar un registro fotográfico del afloramiento el cual exponga el afloramiento en su totalidad y describiendo la orientación en la que fue tomada la fotografía.

En el esquema se debe realizar un bosquejo que permita una mejor comprensión del afloramiento y sus características referenciando la orientación de las familias de discontinuidades que se puedan encontrar.

5.3.1.4 Descripción geológica

Dentro de la descripción geológica del macizo rocoso se debe realizar un análisis detallado de su litología, grado de meteorización y alteraciones de la roca, rasgos estructurales como pliegues, fallas, fracturas etc. Se debe incluir todos los rasgos que se puedan apreciar y de interés al momento de realizar la zonificación geomecánica.

5.3.1.5 División general de zonas.

Se realiza una división de zonas con características semejantes que presenten un grado de homogeneidad, teniendo como criterio de zonificación cada una de sus características tanto geológicas como geotécnicas, el numero zonas y la extensión de ellas estará ligado a la anisotropía que pueda presentar el macizo rocoso y al grado de detalle con el cual se realice en levantamiento geotécnico.

También se debe realizar una identificación de zonas singulares como por ejemplo fallas, diques, zonas de brecha, cavidades, zonas de flujo de agua. Las cuales pueden tener alguna afectación directa sobre el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

5.3.1.6 Descripción de zonas.

Para la descripción de las características de las zonas ya antes diferenciadas, se debe tener en cuenta el descrito en el capítulo de zonificación geotécnica en la cual se exponen los parámetros y características que debe revisados al momento de realizar una descripción del macizo rocoso.

Para realizar una toma de datos organizada y sistemática se debe tener como referencia la guía de mapeo (ver Anexo C) y diligenciar el formato descripción geológica y geotécnica de macizo rocoso (ver anexo B).

5.3.2 Toma de datos en núcleos de perforaciones

Con el propósito de conocer las propiedades y características de un macizo rocoso se realizan perforaciones geotécnicas con el ánimo de obtener muestras completas las cuales se encuentren en un estado lo más próximo a la roca sana, para la descripción la persona calificada debe contar con los siguientes Materiales y equipo:

- Caja de núcleos
- Cámara digital
- Cinta métrica
- Corta plumas
- Escala de colores para la toma de fotografías
- Acido (HCL) diluido al 10%
- Marcadores
- Martillo geológico
- Rayador
- Soporte para cajas de núcleos
- Tacos de madera
- Graduador

Ya con el equipo necesario para realizar de manera óptima la descripción geológica y geotécnica de los testigos de perforación se debe realizar las siguientes actividades.

5.3.2.1 Revisión de intervalos.

La persona encargada debe revisar la longitud del intervalos recuperado corresponda al intervalo perforado, si al realizar la medición se observa que la longitud recuperada es menor a la longitud perforada se entra a evaluar los factores que inciden en dicha perdida, cuando esto suceda se debe solicitar al encargado de la perforación disminuir la longitud del intervalo para evitar generar alteración en las propiedades mecánicas o fracturas de origen mecánico.

5.3.2.2 Ubicación de núcleos de perforación

Luego de realizar la medición del intervalo recuperado, se ubica en las cajas metálicas, delimitando con tacos de madera en los cuales se debe marcar profundidad de inicio, profundidad final, intervalo perforado y recuperado de la corrida, el intervalo se debe ubicar de manera tal que ocupe la longitud total de la caja.

Cuando la caja se llene en su totalidad se procede a rotularla indicando el intervalo de inicio e intervalo final de la caja, numero de caja y nombre de pozo.

Se debe llevar un registro fotográfico de cada caja con su respectiva escala de colores debidamente rotulada con información como nombre del proyecto, profundidad inicial, profundidad final, numero de caja y nombre del sondaje.

5.3.2.3 Descripción geológica

Realizar una descripción litológica detallada de cada uno de los intervalos, identificando parámetros como color de roca, tipo de roca, textura, tamaño de grano. Se debe medir con cinta métrica las profundidades en la cual se presente algún cambio de litología y textura.

5.3.2.4 Descripción geotécnica.

Se debe realizar una descripción detallada determinando los intervalos de cada corrida recuperados detallando donde se presente cambio representativos tales como cambios estructurales y físicos de los núcleos.

Teniendo en cuenta los intervalos se realiza una medición con cinta métrica el valor recuperado (RQD).

Posteriormente se realiza la descripción del grado de meteorización se tiene como referencia la fábrica de la roca y su alteración, el grado de dureza se mide mediante el ensayo con el martillo geológico y corta plumas, los valores obtenidos se deben correlacionar con las tablas de índices estándar relacionados en aparte de caracterización geotécnica.

Se debe identificar el tipo de fracturas y su orientación (diaclasas, fallas, estratificación, cizalla), para esto se debe utilizar el graduador para identificar la inclinación de las fracturas, luego realizar el conteo de las mismas que tengas el mismo grado de inclinación para asignar un valor de J_n (número de familias de discontinuidades).

Realizar la descripción del espesor, rugosidad, tipo de relleno y alteración de las discontinuidades todo esto teniendo como referencia los paramentos ya establecidos (ver anexo A).

Todos los parámetros antes mencionados con su respectivo código estandarizado deben ser registrados en el formato descripción geológica y geotécnica de núcleos de perforación.

5.4 TOMA DE MUESTRAS

Dentro de los parámetros de análisis para la realización de la zonificación geomecánica, se evalúan datos de resistencia de la roca, por lo tanto se deben realizar pruebas de laboratorio que permitan conocer un dato real del comportamiento mecánico de las mismas.

Por ende se debe realizar una toma sistemática de muestras representativas tanto en afloramiento como en sondeos.

5.4.1 Toma de muestras en afloramiento

Para la toma de muestra en afloramiento se debe contar con los siguientes materiales y equipos:

- Bolsas plásticas calibre 4
- Caja de madera
- Aserrín
- Abrazaderas plásticas
- Papel burbuja
- Formato de registro de muestras
- Marcador
- Cámara
- Cíncel
- Masete
- GPS
- Rótulos
- Papel vinipel
- Corta plumas

La obtención de muestras es una labor que debe ser coordinada por el geólogo geotecnista siguiendo las siguientes actividades

1. Se debe localizar e identificar las zonas de afloramiento que presenten una buena exposición y un bajo grado de meteorización, la zona escogida debe tener un espesor para que la muestra extraída cuente con las dimensiones requeridas, las cuales son 20 cm por sus tres costados.

Se debe extraer un bloque de roca sana, utilizando martillo y cincel, realizando un corte que no genere grandes esfuerzos que puedan ocasionar fracturas en el bloque, en lugares donde la roca es muy dura se debe realizar el proceso de extracción con martillo neumático.

2. Luego de extraído el bloque se debe impermeabilizar utilizando papel vinipel o papel aluminio, se debe rotular la muestra describiendo localización y litología, posteriormente se dispone en cajas de madera con un lecho de aserrín para su transporte.
3. Las muestras extraídas deberán ser enviadas al laboratorio junto con el programa de ensayos para cada una de ellas
4. El muestreo debe ser sistemático y planeado de tal forma que sea representativo y la frecuencia del mismo dependerá de la necesidad de obtención de parámetros mecánicos del macizo rocoso.

5.4.2 Toma de muestras en núcleos de perforación

Para la obtención de muestras representativas de núcleos de perforación se debe contar con los siguientes materiales y equipos:

- Bolsas plásticas calibre #4 y diámetro 5 “
- Abrazaderas plásticas
- Papel burbuja
- Rótulos
- Formato de registro de muestras
- Papel vinipel
- Tijeras
- Cámara fotográfica
- Marcador

Esta labor debe ser coordinada por el geólogo y geotecnista y se debe realizar las siguientes actividades.

1. Previo a la realización del muestreo se debe realizar el logeo geológico y geotécnico.
2. Teniendo como referencia los intervalos geológicos descritos, se procede a la obtención de las muestras, la cantidad de muestras dependerá de la cantidad de cambio litológicos que se presenten en la perforación, la muestras escogidas deberán tener una longitud no menor a 25 cm, se describe el intervalo desde y hasta que profundidad, el diámetro de perforación y la litología que correspondiente.
3. Posteriormente la muestra escogida debe ser debidamente rotulada e impermeabiliza utilizando papel vinipel y empacada en bolsa tubular cerrada con abrazaderas para evitar que pierda humedad.
4. Para evitar golpes y fracturas de las muestras se deben empacar las muestras en papel burbuja y posteriormente dentro de tubo plástico, el tubo debe estar rotulado con el código de la muestra y número de tubo.
5. Las muestras deben ser enviadas al laboratorio con su respectivo programa de ensayos para la obtención de parámetros mecánicos del macizo rocoso.

5.5 GUÍA PARA LA ZONIFICACIÓN GEOMECHANICA⁵

Después del desarrollo de las actividades antes descrita, y teniendo la información necesaria para el desarrollo de la zonificación, se genera la clasificación geomecánica, la cual constituye un procedimiento de caracterización de macizos rocosos realizando unas series de observación y medidas, las cuales fueron tomadas en campo y diligenciadas de manera ordenada en los formatos de toma de datos (ver Anexo B y C).

Teniendo cuenta lo anterior se debe analizar el parámetro que rigen la clasificación geomecánica, en este trabajo usamos el o Rock Mass Rating (RMR), que describe las calidades del macizo rocoso, evaluando los siguientes parámetros:

1. Resistencia de la roca
2. Grado de fracturamiento (RQD)
3. Espaciamiento de las discontinuidades
4. Condiciones de las discontinuidades
 - Abertura de las caras de las discontinuidades
 - Continuidad y persistencia de las discontinuidades
 - Rugosidad

⁵ Fundamento e ingeniería de taludes (150)

- Alteración de las discontinuidades
- Relleno de las discontinuidades

5. Presencia de agua

A cada parámetro antes mencionando se le asigna un valor estándar dependiendo sus características y condiciones, por ende se debe tener en cuentas las siguientes clasificaciones:

5.5.1 Resistencia de la roca.⁶

Para el análisis de este parámetro se tendrá en cuenta la resistencia de la roca medida mediante ensayos de resistencia a la compresión simple y carga puntual y se asigna su valoración teniendo en cuenta la Tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de la resistencia

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)	CARGA PUNTUAL (Mpa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	>10	15
Muy dura	100-250	4.-10	12
Dura	50-100	2.-4	7
Moderadamente dura	25-50	1.-2	4
Blanda	5.-25	<1	2
Muy blanda	1.-5	<1	1

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.5.2 Grado de fracturamiento (RQD).

Los valores obtenidos en campo tanto en afloramiento como en sondeos reciben una clasificación teniendo en cuenta la Tabla 15.

Tabla 15. Clasificación índice de fracturamiento.

INDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Excelente	20

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

⁶ Fundamento e ingeniería de taludes Pág.(151)

5.5.3 Espaciado

Espaciado de discontinuidades. Se realiza la clasificación teniendo en cuenta la Tabla 16

Tabla 16. Clasificación de espaciado

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE JUNTAS	TIPO DE MOCIZA ROCOSO	VALORACIÓN
Muy separadas	>2 m	Sólido	20
Separadas	06-2 mm	Masivo	15
Moderadamente juntas	200-600 mm	En bloques	10
Juntas	60-200 mm	Fracturado	8
Muy Junta	<60 mm	Machacado	5

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

5.5.4 Condición de las discontinuidades.

Los parámetros obtenidos en campo de cada una de las condiciones a evaluar de las discontinuidades, se clasifican así:

Tabla 17. Clasificación de aberturas de discontinuidades

DESCRIPCIÓN	SEPARACION DE LAS CARAS	VALORACIÓN
Abierta	> 5 mm	0
Moderadamente abierta	1-5 mm	1
Cerrada	0,1-1 mm	4
Muy cerrada	<0,1 mm	5
Ninguna	0	6

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

Tabla 18. Clasificación Continuidad y persistencia

DESCRIPCIÓN	SEPARACION DE LAS CARAS	VALORACIÓN
Muy baja	< 1m	6
Baja	1-3 m	4
Madia	3-10 m	2
Alta	10-20 m	1
Muy alta	>20 m	0

Fuente. Ingeniería Geológica, Luis i Gonzales de Vallejo 2004

Tabla 19. Clasificación de rugosidad

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Muy rugosa	6
Rugosa	4
Ligeramente rugosa	2
Lisa	1
Plana (espejo de falla)	0

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

Tabla 20. Clasificación según relleno de discontinuidades

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Blando >5 mm	0
Blando <5 mm	2
Duro > 5mm	2
Duro < 5mm	4
Ninguno	6

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

Tabla 21. Clasificación según la alteración de las discontinuidades

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Descompuesta	0
Muy alterada	1
Moderadamente alterada	3
Ligeramente alterada	5
No alterada	6

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

Tabla 22. Presencia de aguas

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Seco	15
Ligeramente húmedo	10
Húmedo	7
Goteando	4
Fluyendo	0

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

El índice de calidad RMR se obtiene de la suma de los valores obtenidos al evaluar las características de cada parámetro antes descrito, los valores de RMR varían en un rango de 0-100 como lo muestra la Tabla 23.

Tabla 23. . Clasificación RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR	COHESIÓN	ANGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 Kg/cm ³	35°-45
III	Media	61-41	>4 Kg/cm ⁴	25°-35°
IV	Mala	40-21	2-3 Kg/cm ⁵	15°-25°
V	Muy Mala	<20	1-2 Kg/cm ⁶	<15°

Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

La suma de cada parámetro evaluado, da la clasificación geomecánica la cual establece de manera directa datos de cohesión y ángulo de rozamiento, los cuales permiten realiza un análisis de estabilidad de los taludes proyectados a desarrollar dentro de las operaciones mineras

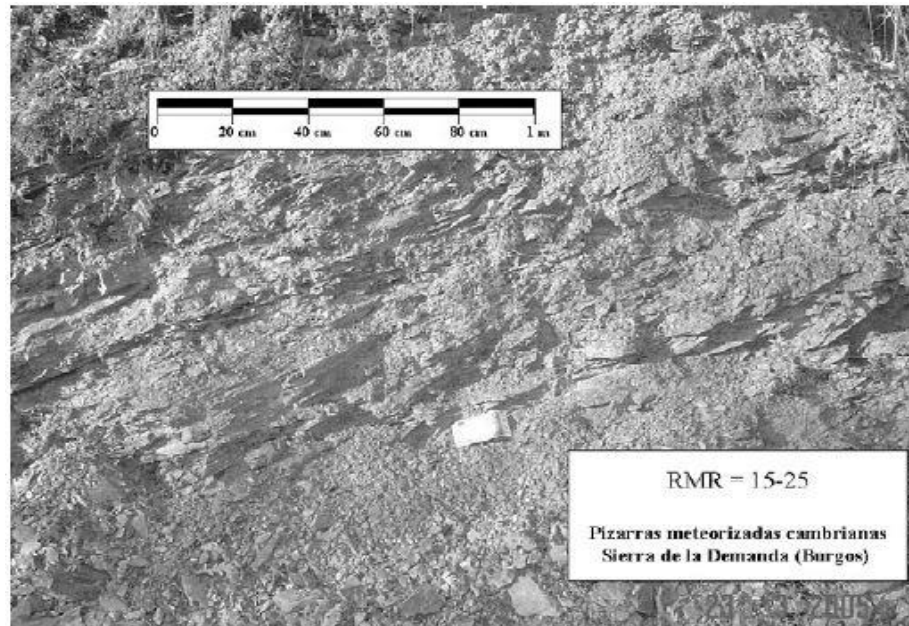
Tabla 24. Clasificación geomecánica

Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
	Compresión simple	>250	250 – 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	<1
Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	25%		
Puntuación		20	17	13	6	3		
Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2m	0.2 - 0.6m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		

Puntuación		20	15	10	8	5
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 20m	> 20m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	<0.1mm	0.1 - 1.0mm	1 - 5mm	>5mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligerament e rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
	Puntuación	6	4	2	2	0
	Alteración	Inalterada	Ligerament e alterada	Moderadam ente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0
Agua freática	Caudal por 10m de Túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min
	Relación: Presión de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación		15	10	7	4	0
Corrección por la orientación de discontinuidades						
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60
Clasificación						
Clase		I	II	III	IV	V
Calidad		Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación		100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Características geotécnicas						
Clase		I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud		10 años con 15m de vano	6 meses con 8m de vano	1 semana con 5m de vano	10 horas con 2.5m de vano	30 minutos con 1m de vano
Cohesión		>4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2Kp/cm ²	<1 Kp/cm ²
Angulo de rozamiento		>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	15°

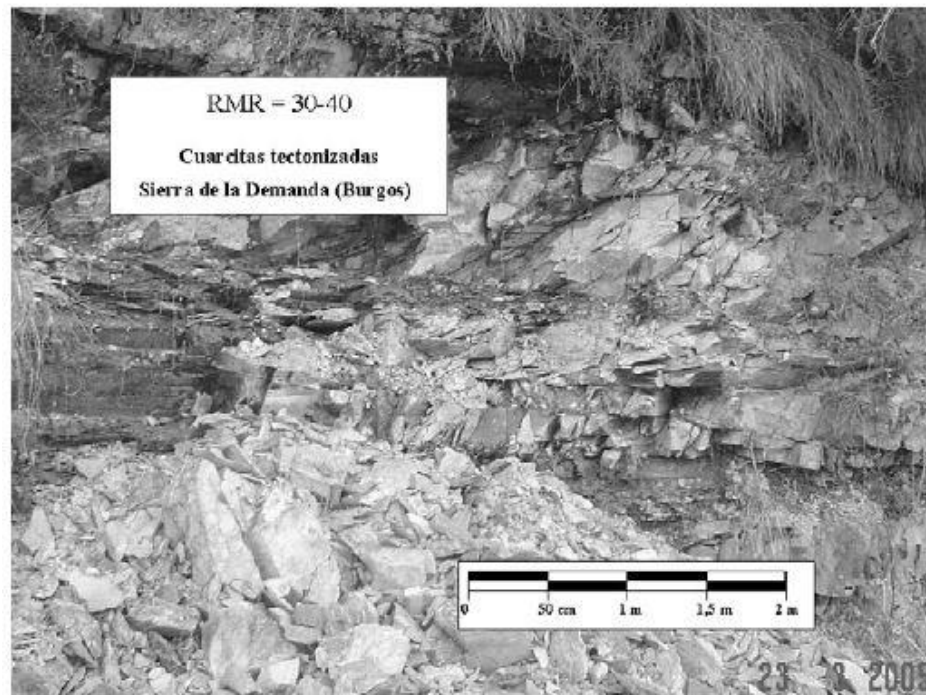
Fuente. Ingeniera Geológica, Luis I Gonzáles de vallejo 2004

Figura 4. Macizo rocoso de calidad muy mala



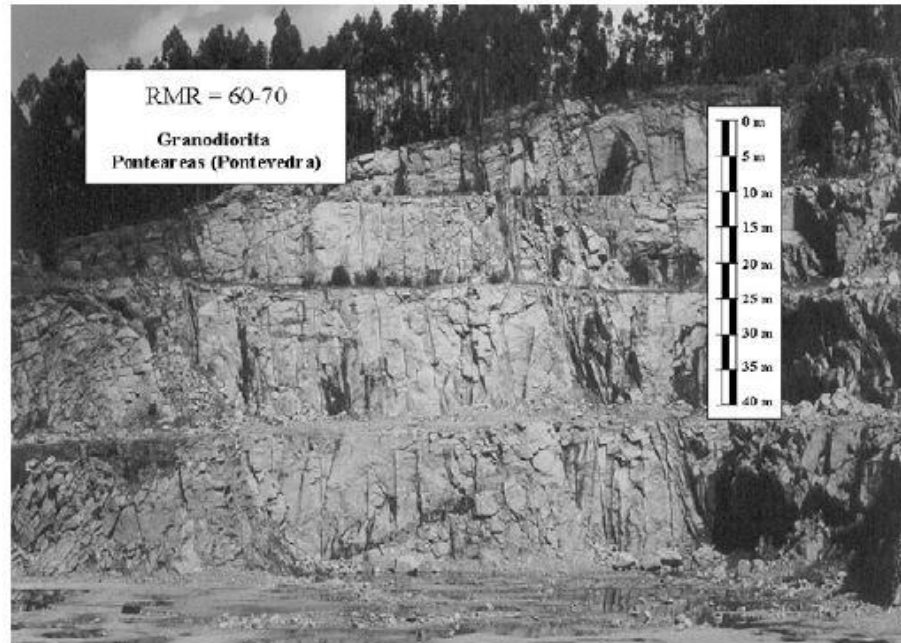
Fuente. Fundamentos e ingeniería de taludes

Figura 5. Macizo rocoso de calidad mala



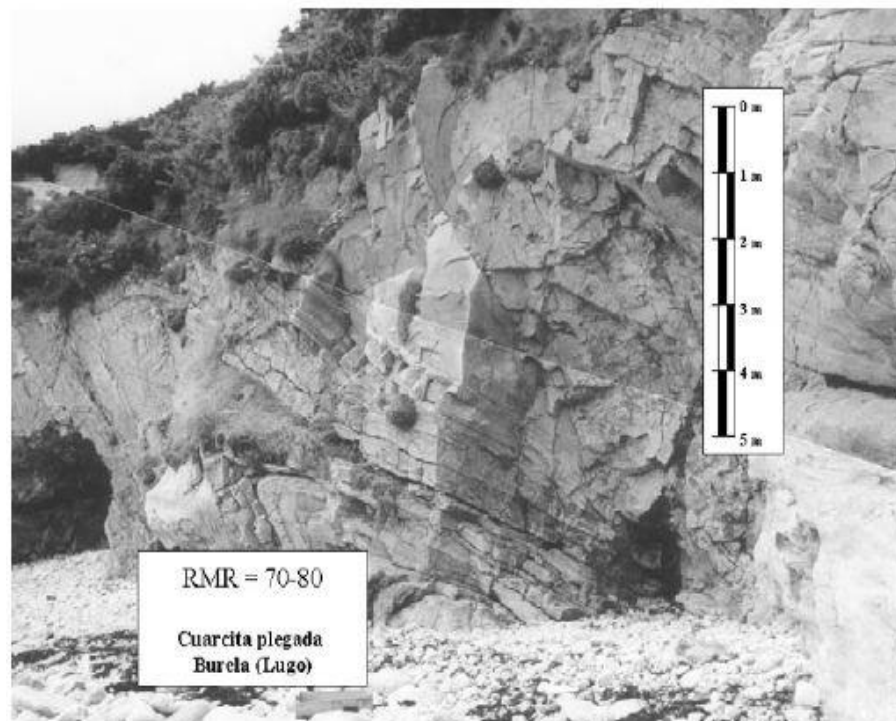
Fuente. Fundamento e ingeniería de taludes

Figura 6. Macizo rocoso de buena calidad



Fuente. Fundamento e ingeniería de taludes

Figura 7. Macizo rocoso de calidad buena a muy buena



Fuente. Fundamento e ingeniería de taludes

6 VALORACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL ENFOQUE

6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

Las características geotécnicas del macizo rocoso de la zona de estudio se describen acorde con las necesidades de la zonificación a desarrollar, la exploración comprendió la ejecución de perforaciones con recuperación de núcleos y descripción de afloramiento.

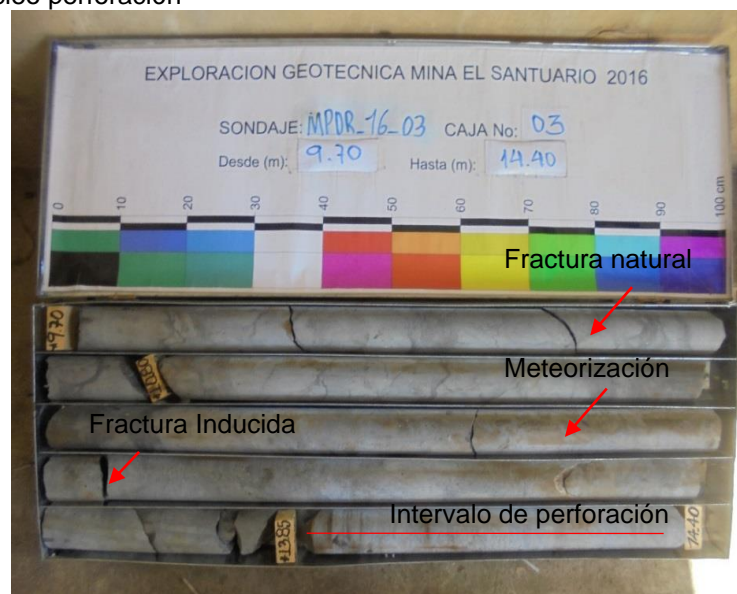
6.2 LEVANTAMIENTO DE DATOS

La recopilación de la información para la realización del análisis geotécnico consistió en dos etapas, primero toma de datos en afloramiento y segundo registro geotécnico para obtención de datos en datos de perforación.

6.2.1 Toma de datos de perforación

La recopilación de información consistió en realizar una descripción geológica-geotécnica detallada, toma de muestras y realización de ensayos de laboratorio, para el análisis los núcleos de perforación se ubican en cajas debidamente rotuladas y diferenciando los tramos de perforación (ver Figura 8).

Figura 8. Núcleo perforación



Fuente. El autor

Para la descripción Geológico – geotécnica de los diferentes intervalos litológicos presentes en cada corrida de perforación, se tuvo en cuentas los parámetros de caracterización geotécnica, que están contenidos en el Anexo D.

6.2.2 Toma de muestras en perforación

Se define el perfil estratigráfico y se eligen los intervalos representativos en los cuales se realizará el muestreo, posteriormente se realiza el embalaje de las muestras siguiendo el patrón descrito en el aparte 5.4.

6.2.3 Toma de datos en afloramiento

Para la toma de datos en afloramientos se tuvo en cuenta la metodología propuesta en el aparte 5.3 de capítulo exploración de campo.

Se procede a la delimitación de las zonas en las cuales se desea realizar la descripción geológica-geotécnica, de la zona la cual presentan una homogeneidad en las condiciones tanto geológicas como geotécnicas.

Se realiza la descripción de los parámetros geotécnicos como son resistencia, grado de meteorización, etc. Expuestos en el aparte caracterización geotécnica.

6.3 ANÁLISIS GEOTÉCNICO PERFORACIONES

La exploración de campo se realizado mediante dos perforaciones las cuales alcanzaron una profundidad promedio de 40m, a las cuales se le realizó una descripción geológico-geotécnica encontrando los siguientes parámetros.

6.3.1 Litología

Durante la exploración realizada mediante dos perforaciones mecánicas se encuentran expuestas 4 litologías descritas a continuación:

Lutitas de techo: Lutitas grises oscuras a negras compactas con estratificación planoparalela, presentan esporádicas trazas de piritita, ligeramente calcáreas, se encuentran fracturadas.

Calizas: Son calizas micríticas grises claras compactas, presentan venillas de calcita ligeramente alterada, fracturada con rellenos areno-arcillosos productos de disolución.

Mineral de hierro: Conformado por mineral de hierro hematita, goethita y limonita, presenta formas maciza como cristalina, evidenciando textura vesicular de color pardo a negro azulado.

Siderita: Son carbonatos de hierro de textura cristalina, masivas compactas de coloraciones que van desde blancas amarillentas grises y pardas, las cuales son producto de alteración hidrotermal de calizas micríticas, se presentan en forma de diques o lentes.

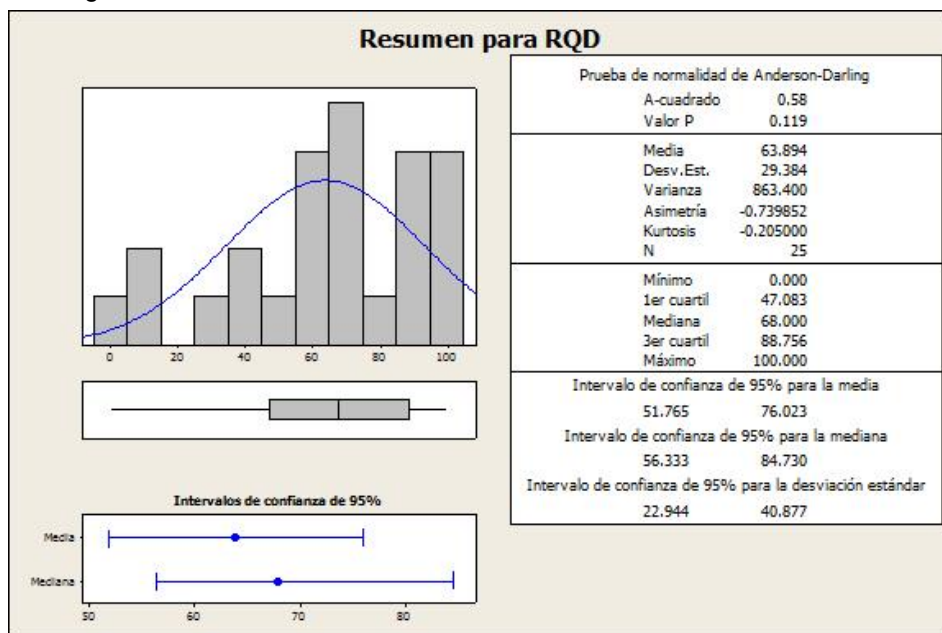
6.3.2 Parámetros geotécnicos

Para realizar una análisis comparativo entre los datos obtenidos tanto en afloramiento como en perforación, se realiza un logeo geológico-geotécnico a la los intervalos donde se encuentre presente caliza, (ver Anexo D), donde se obtienen los parámetros establecidos para la clasificación del macizo descritos a continuación

6.3.2.1 RQD

Realizando la medición de todos los fragmentos mayores a 10 cm se obtiene los valores de RQD para cada tramo geotécnico establecido y se realiza un análisis estadístico.

Gráfica 1. Histograma análisis estadístico RQD



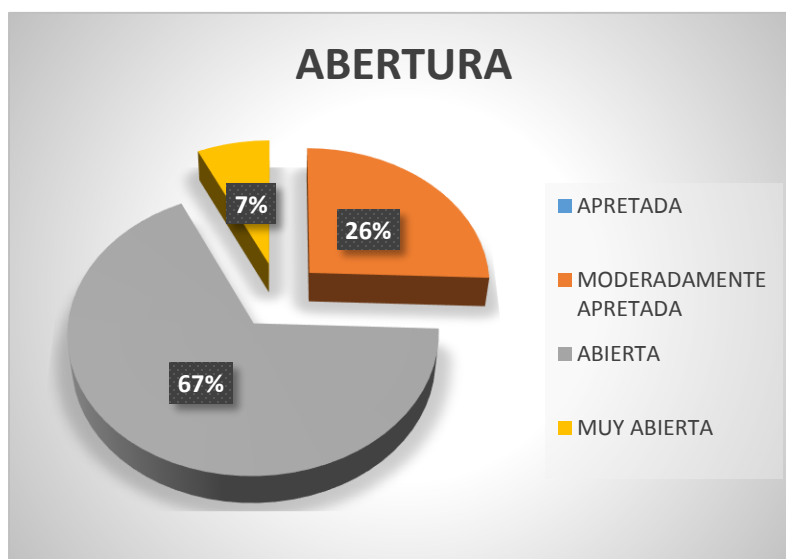
Fuente. El Autor

El valor promedio obtenido mediante la medición de los fragmentos mayores a 10 cm, tiene una tendencia a la derecha teniendo valores promedio de 63 % lo que nos da una clasificación de calidad regular para el macizo rocoso analizado.

6.3.2.2 Abertura

Se tomó la distancia perpendicular existente entre las paredes de las discontinuidades en las cuales se encontraban desprovista de algún material de relleno o permitía su medición obteniendo los siguientes resultados, la Gráfica 2 se expone que la medida que predomina en el macizo rocoso analizado es de 1-5mm.

Gráfica 2. Abertura de discontinuidades

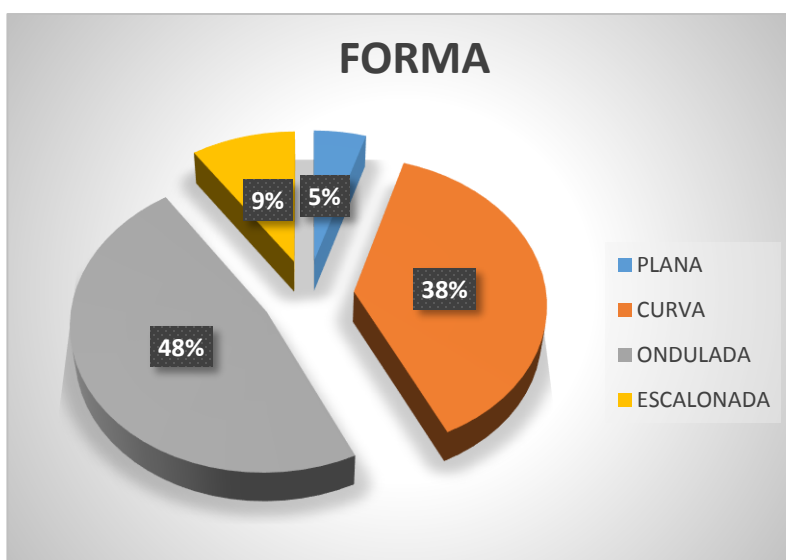


Fuente. El autor

6.3.2.3 Forma

La medición de la forma de las discontinuidades se realizó de manera visual teniendo como referencia la codificación estándar propuesta en el capítulo 6. La Gráfica 3 muestra que la forma predominante en el macizo rocoso ondulada.

Gráfica 3. Forma de las discontinuidades

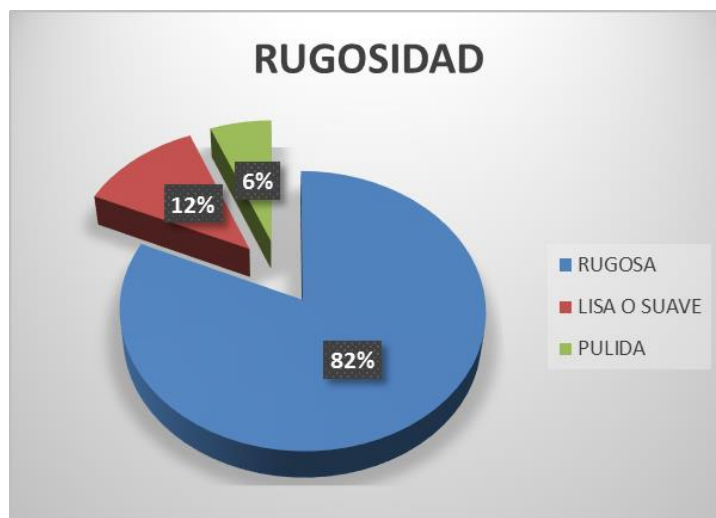


Fuente. El Autor

6.3.2.4 Rugosidad

La medición de la rugosidad de las discontinuidades se realizó de manera visual teniendo en cuenta la codificación estandarizada en capítulo 6, la Gráfica 4 ilustra que la rugosidad predominante en el macizo rocoso es rugosa con un 82%.

Gráfica 4. Rugosidad de discontinuidades

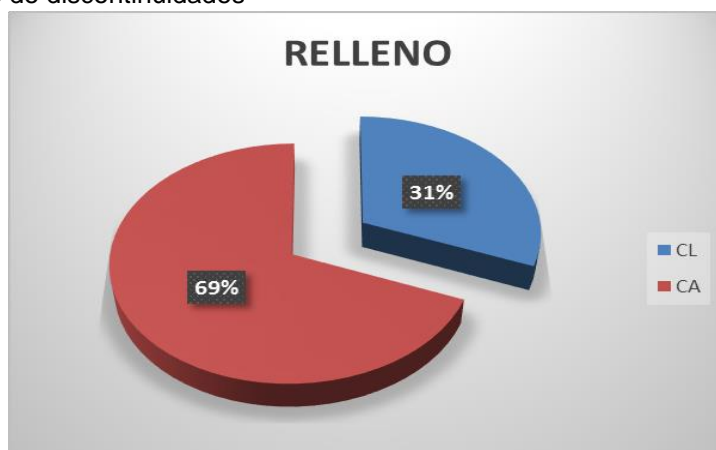


Fuente. El autor

6.3.2.5 Relleno

La Gráfica 5 ilustra el porcentaje y tipo de rellenos encontrados en la exploración del macizo rocoso, los cuales se componen de rellenos duros como la calcita y rellenos blancos de tipo arcilloso.

Gráfica 5. Relleno de discontinuidades



Fuente. El Autor

6.3.2.6 Resistencia

La resistencia fue medida en campo mediante el martillo de Schmidt, y correlacionadas para hallar su valor de resistencia la Gráfica 6 ilustra los resultados obtenidos de resistencia utilizando la codificación descrita anteriormente.

Gráfica 6. Resistencia del macizo



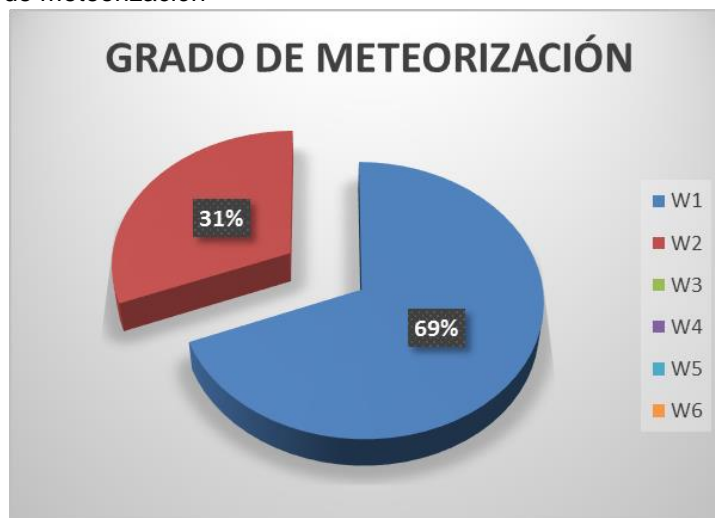
Fuente. El Autor

La gráfica anterior expone que la roca presenta, valores de resistencia medianamente dura y dura que correlacionados con el ensayos de compresión simple comprende valores entre 50 y 100 Mpa.

6.3.2.7 Meteorización

Los testigos recuperados presentan meteorización moderada en los primero metros, posteriormente los testigos no presentan signos visibles de meteorización.

Gráfica 7. Grado de meteorización



Fuente. El autor

6.3.2.8 Continuidad

Se analiza las condiciones tectónicas de la zona de estudio y la dirección en la que se presentan las discontinuidades y se obtiene un valor de continuidades de 10 a 15 m.

6.4 ANÁLISIS GEOTÉCNICO EN AFLORAMIENTO

Durante la exploración en afloramiento se realizó teniendo como referencia la metodología propuesta en el apartado 5.3.1 (toma de datos en afloramiento), se obtienen los parámetros establecidos para la clasificación geomecánica descritos a continuación (Ver Anexo D).

6.4.1 Litología

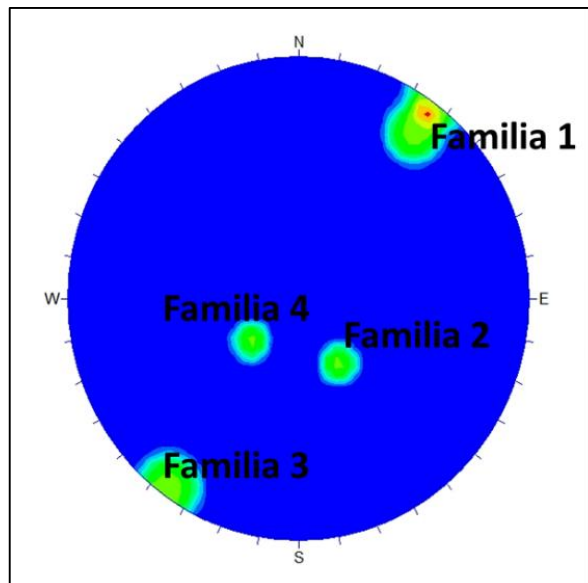
En el sector de estudio, el levantamiento geotécnico se encuentra aflorante calizas micriticas grises claras compactas, con esporádicas venillas de calcita ligeramente alterada.

6.4.2 Número y orientación de familia de discontinuidades

A partir del procesamiento de 116 datos tomados a lo largo de la zona escogida fue posible identificar las principales familias existentes, para el procesamiento de estos datos fue utilizado el software DIPS V 5.1.

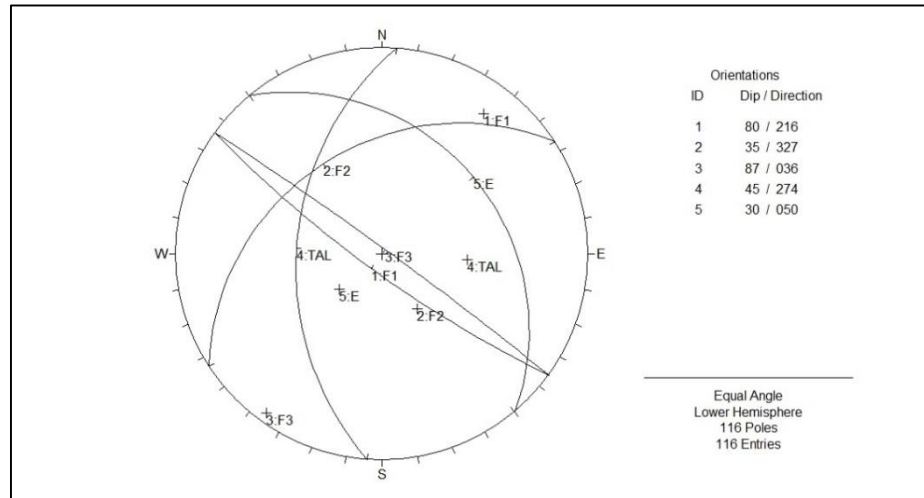
La Figura 9 ilustra la red de densidad de polos con todos los datos estructurales medidos en campo

Figura 9. Red de densidades de polos



Fuente. El autor

Figura 10. Diagrama de planos y polos



Fuente. El autor

En la Figura 10 se ilustra los planos y polos de las discontinuidades encontradas en la zona de estudio y la dirección del talud, en ella se pudo evidenciar que no se presenta la presencia de intercesión de planos que puedan generar falla en cuña o falla planar la Tabla 25 expone los datos estructurales de cada familia.

Tabla 25. Datos estructurales discontinuidades

N° Familia	Rumbo	Cuadrante Rumbo	Buzamiento	Cuadrante Buzamiento
Familia 1	54	NW	80	SW
Familia 2	57	NE	35	NW
Familia 3	55	NW	87	NE
Familia 4	39	NW	30	NE
Dirrecion de talud	4	NE	45	NW

Fuente. El Autor

6.4.2.1 RQD

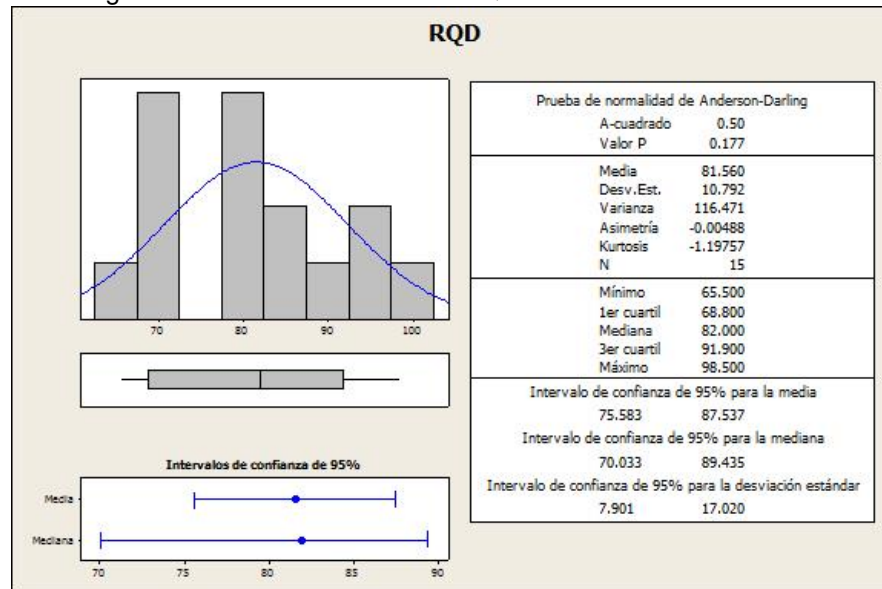
La medición del valor de RQD, se realizó teniendo en cuenta el número de discontinuidades presentes en un m^3 y se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo del mismo.

$$RQD = 115 - (3.3)J_v$$

Donde J_v es el número de discontinuidades en un metro cubico.

De este análisis se realiza el siguiente análisis estadística ver Gráfica 8

Gráfica 8. Histograma de Análisis estadístico RQD



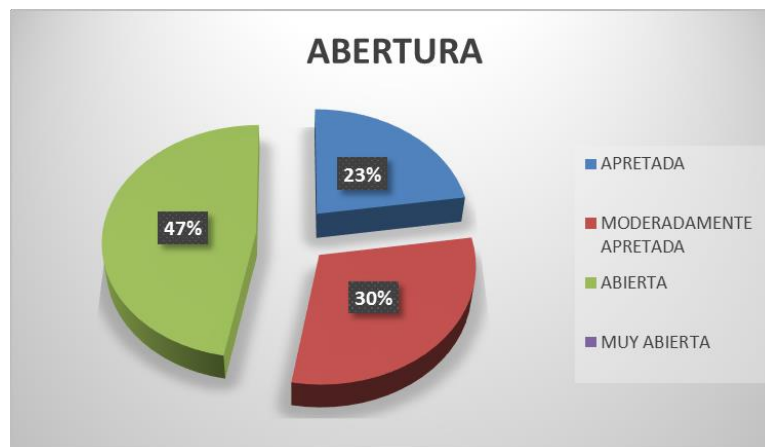
Fuente. El Autor

En la gráfica anterior se puede observar una distribución normal asimétrica manteniendo entre valores de RQD de 70 y 80 %, lo que indica una calidad de macizo rocoso bueno.

6.4.2.2 Abertura

Se tomó la distancia perpendicular existente entre las paredes de las discontinuidades en las cuales se encontraban desprovista de algún material de relleno o permitía su medición obteniendo los siguientes resultados, la Gráfica 9 se expone que la medida que predomina en el macizo rocoso analizado es de 1-5mm (abierto).

Gráfica 9. Abertura de discontinuidades

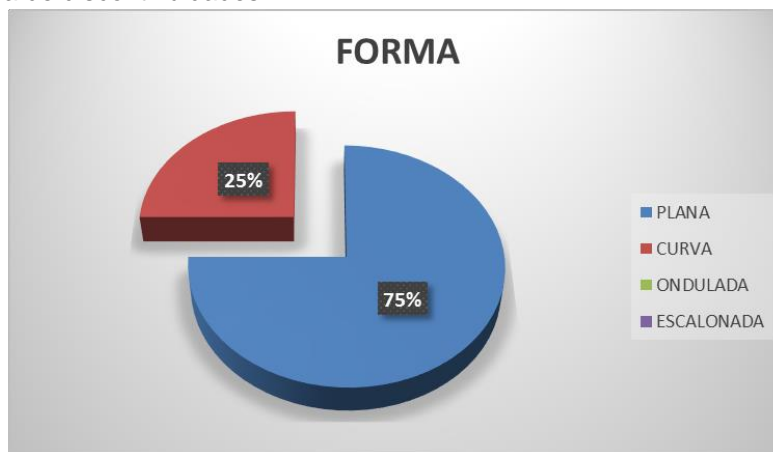


Fuente .El Autor

6.4.2.3 Forma

La medición de la forma de las discontinuidades se realizó de manera visual teniendo como referencia la codificación estándar propuesta en el aparte 5.2. La Gráfica 10 muestra que la forma predominante en el macizo rocoso es plana.

Gráfica 10. Forma de discontinuidades

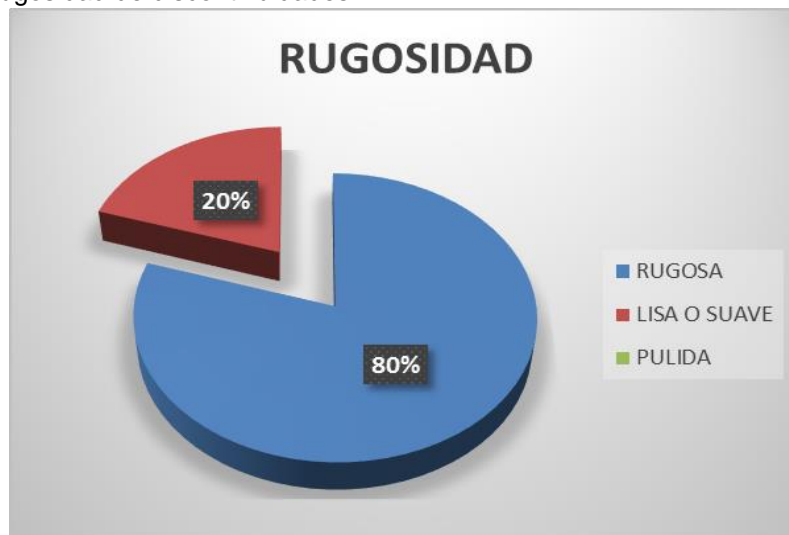


Fuente. El Autor

6.4.2.4 Rugosidad

La medición de la rugosidad de las discontinuidades se realizó de manera visual teniendo en cuenta la codificación estandarizada en aparte 5.2, la Gráfica 11 ilustra que la rugosidad predominante en el macizo rocoso es rugosa con un 80%.

Gráfica 11. Rugosidad de discontinuidades

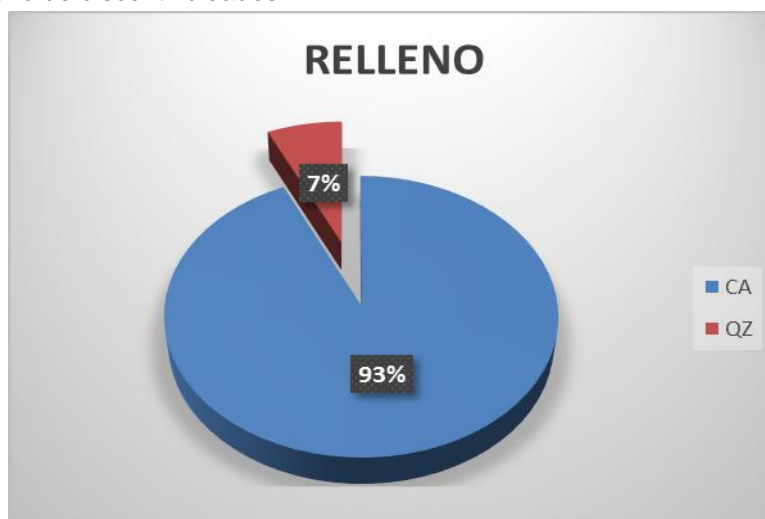


Fuente. El Autor

6.4.2.5 Relleno

La Gráfica 12 ilustra el porcentaje y tipo de rellenos encontrados en la exploración del macizo rocoso, los cuales se componen de rellenos duros como la calcita y cuarzo, los cuales son predominantes a lo largo de todo el afloramiento.

Gráfica 12. Relleno de discontinuidades



Fuente. El Autor

6.4.2.6 Resistencia

La resistencia fue medida en campo mediante el martillo de Schmidt, y correlacionadas para hallar su valor de resistencia la Gráfica 13 ilustra los resultados obtenidos de resistencia utilizando la codificación descrita anteriormente.

Gráfica 13. Resistencia de discontinuidades



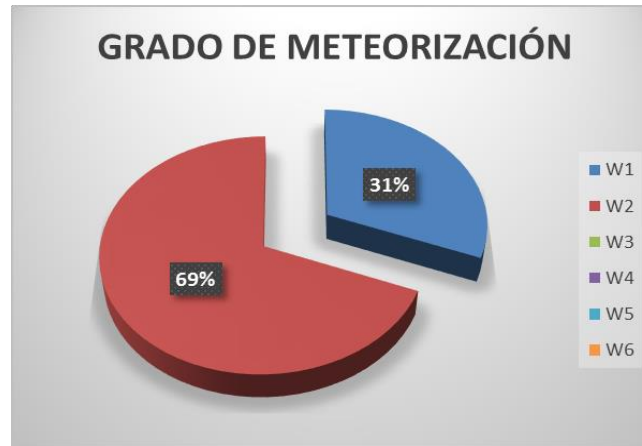
Fuente. El Autor

Se encuentran valores de resistencia entre medianamente dura y dura debido a que las rocas expuestas en el afloramiento son calizas micriticas muy competentes.

6.4.2.7 Meteorización

La observación realizada a las rocas expuestas indica un grado de meteorización ligeramente alterada debido a que las rocas no llevan mucho tiempo expuestas a los agentes climáticos y conservan sus características originales.

Gráfica 14. Grado de meteorización



Fuente. El Autor

6.4.2.8 Continuidad

Se analiza las condiciones tectónicas de la zona de estudio y la dirección en la que se presentan las discontinuidades y se obtiene un valor de continuidades de 10 m en el rumbo y de 10 a 15 m en la dirección del buzamiento.

6.4.2.9 Filtraciones

En la observación realizada en el macizo rocoso no se evidencia la presencia de surgencias de agua que afecten el comportamiento mecánico del mismo.

6.5 CLASIFICACIÓN DE MACIZO ROCOSO

Como se evidencia en aparte anterior se realizó una exploración geológica-geotécnica tanto en afloramiento como en perforación de los cuales se obtuvieron los parámetros indicados para la realización de la zonificación geomecánica.

Dichos parámetros fueron evaluados y clasificados según lo propuestas en la metodología RMR, los cuales se describen a continuación

6.5.1 Clasificación Geomecánica en Afloramiento

Del análisis realizado de los parámetros obtenidos en afloramiento se obtuvieron los siguientes valores.

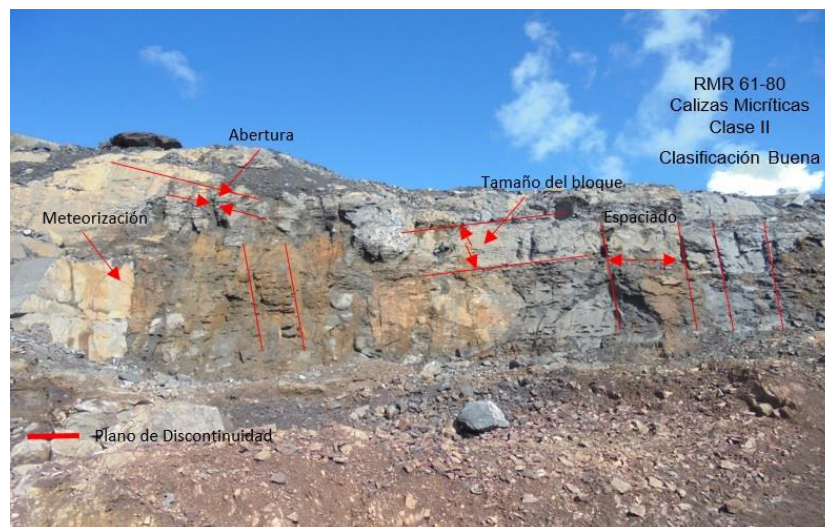
Tabla 26. Parámetros de macizo rocoso

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACIÓN
Resistencia	2.-4	7
RQD	75%-90%	17
Continuidad	3-10m	2
Espaciamiento	0.6-2m	15
Abertura	1-5mm	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Relleno Duro >5mm	2
Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración	Seco	15

Fuente. El Autor

La sumatorio total de la puntuación obtenida en cada uno de los parámetros evaluados da un valor de 69 puntos, que se encuentra dentro del rango de clasificación de 61-80, el cual otorga una clasificación de macizo buena o de clase II, este macizo presenta según la clasificación obtenida un ángulo de rozamiento entre 35°- 45° y una cohesión de 3-4 $Kpal/cm^3$, factores que pueden ser utilizados en el momento de realizar el diseño de las obras que se proyectan realizar en dicho macizo.

Fotografía 1. Afloramiento descrito



Fuente. El Autor

6.5.2 Clasificación Geomecánica en Perforación

La clasificación geomecánica realizada a partir de los datos obtenidos de la descripción geológica-geotécnica realiza a intervalos de perforación, los parámetros obtenidos fueron evaluados y clasificación según la metodología RMR, se establecen los siguientes valores de clasificación.

Tabla 27. Parámetros de macizo rocoso bueno

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACIÓN
Resistencia	1.-2	4
RQD	90%-100%	20
Continuidad	3.-10	2
Espaciamiento	>2mm	20
Abertura	0.1-1.0	3
Rugosidad	Rugoso	5
Relleno	Suave	1
Alteracion	Moderada	3
Infiltracion	seco	15

Fuente. El autor

Tabla 28. parámetros de macizo rocoso medio

PARAMETRO	VALOR	PUNTUACION
Resistencia	2.7	7
RQD	50%-75%	10
Continuidad	3.-10	2
Espaciamiento	0.2-0.6mm	10
Abertura	0.1-10	3
Rugosidad	Muy Rugosa	6
Relleno	Suave	1
Alteración	Escasa	5
Infiltración	Seco	15

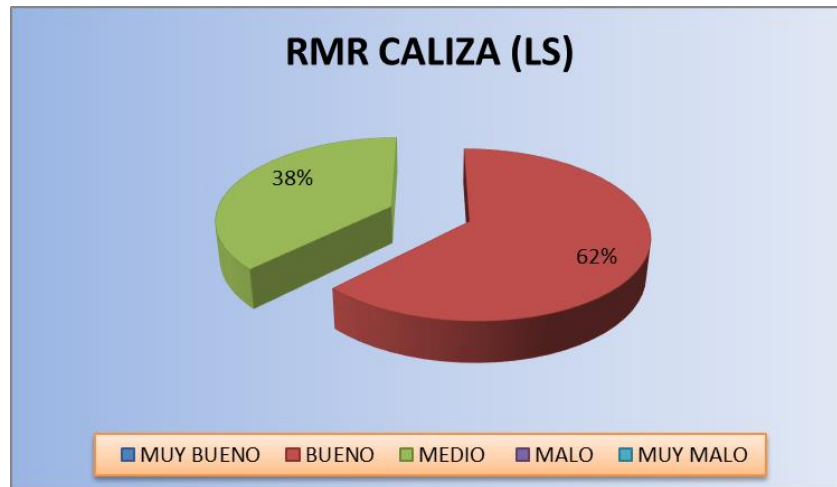
Fuente. El Autor

La Tabla 27 expone los parámetros obtenidos cuya sumatoria total es 73 puntos que se encuentra dentro del rango de clasificación de 61-80, la cual otorga una clasificación de macizo buena, que correlacionando ángulos de rozamiento entre de 35°- 45°y cohesión de 3-4 Kpa/cm³; la Tabla 28 expone los valore obtenidos cuya sumatoria total es de 53 puntos que se encuentra dentro del rango de clasificación

de 41-60 que recibe una clasificación de media, que otorga valores de ángulos de rozamiento de 25°- 35°y cohesión de 2 - 3 Kpa/cm³.

La Gráfica 15 ilustra el porcentaje de distribución de estas clasificaciones a lo largo de macizo rocoso estudiado.

Gráfica 15. Clasificación RMR calizas

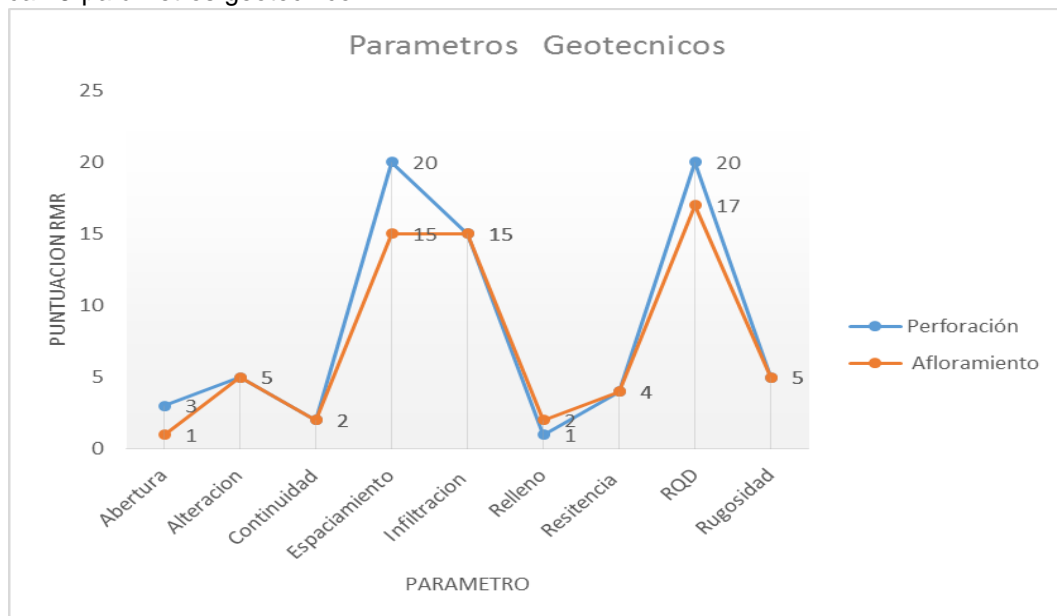


Fuente. El Autor

6.5.3 Comparación clasificación geomecánica afloramiento y perforación

La zonificación geomecánica obtenida tanto en afloramiento como en perforación, obtuvo una clasificación de macizo bueno clase II, generando una correlación directa entre los parámetros evaluados.

Gráfica 16. parámetros geotécnico



Fuente. El Autor

La Gráfica 16 muestra los parámetros de clasificación Vs el puntaje obtenido de los mismos tanto en afloramiento como en perforación, en esta grafica se puede analizar que los parámetros los cuales presentan una relación directa con el comportamiento de los planos de discontinuidad como abertura, espaciamiento y RQD presenta una disminución en su puntuación en los parámetros obtenidos en afloramiento, esto debido a la actividad antrópica como voladuras, descapote y demás actividades efectuadas dentro del desarrollo, preparación y explotación.

Esto demuestra que las actividades propias dentro de una explotación minera a cielo abierto generan cambio de las condiciones y parámetros de un macizo rocoso si bien en este caso en particular la clasificación general no varía, en macizo rocoso con litología con una resistencia menor puede cambiar drásticamente el comportamiento mecánico de los mismos y por ende su clasificación geomecanica por esto se debe realizar una clasificación periódica de los macizo rocosos que se encuentren dentro de la explotación minera a cielo abierto.

7 CONCLUSIONES

- Se ha realizado de manera satisfactoria una guía para la zonificación geomecánica de macizos rocosos, la cual puede ser empleada dentro del desarrollo, preparación y explotación de cualquier proyecto minero a tajo abierto.
- La guía para la descripción de parámetros geotécnicos desarrollada dentro del enfoque, permite generar un conocimiento claro y detallado de las características principales a evaluar dentro de la clasificación geomecánica y su codificación estandarizada.
- La descripción de las actividades necesarias para el desarrollo de una zonificación geomecánica, se describen de manera sencilla y clara de modo que pueda ser entendida con facilidad para obtener los mejores resultados de las mismas.
- Los formatos generados permite recopilar la información necesaria para la clasificación geomecánica de manera ordenada y concisa.
- Según los resultados del ejemplo aplicativo se evidencia que la calidad del macizo rocoso, de acuerdo a la calificación RMR (Rock Mass Rating) corresponde a clase II y III, las cuales se clasifican en bueno y medio respectivamente, presentando cohesión de $3-4 \text{ Kpa/cm}^3$ y ángulos de fricción de $35^\circ - 45^\circ$ para la clase II y cohesión de $2-3 \text{ Kpa/cm}^3$ con ángulos de fricción de $25^\circ - 35^\circ$ para la clase III.
- La calidad de macizo rocoso obtenida tanto en afloramiento como del análisis de los núcleos de perforación presenta una clasificación II, denomina como calidad buena presentando pequeña variación dentro de los parámetros descritos en afloramiento que se encuentran ligados a los planos de discontinuidad, esto debido a la actividad antrópica propia dentro de desarrollo, preparación y explotación del proyecto minero el Santuario.

8 BIBLIOGRAFÍA

GONZALES DE VALLEJO L.I., 2004 Ingeniería Geológica Ed Pearson Educación S.A.

BIENIAWSKI, Z, T., 1989 Engineering Rock Mass Classifications.

PEDRO RAMIREZ. Fundamento e Ingeniería de taludes

HOEK & BRAWN. 1980 Underground Excavations in Rock, Institution of Metalurgy Proyecto Chuquicamata Subterráneo, extraída de “Geotechnical guidelines for a Transition from Open Pit to Underground Mining”.

PROYECTO CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEO. Extraída de “Geotechnical guidelines for a Transition from Open Pit to Underground Mining”.